

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais

MONOGRAFIA

**Viabilidade Econômica de Aplicação das Técnicas de Corte
de Rochas Ornamentais. Estudo
Comparativo de Custos**

Aluno: Erlan César de Faria Filho

Orientador: Cláudio Lúcio Lopes Pinto

Julho 2012

Erlan César de Faria Filho

**Viabilidade Econômica de Aplicação das Técnicas de Corte
de Rochas Ornamentais. Estudo
Comparativo de Custos**

Monografia apresentada à Universidade Federal
de Minas Gerais, como requisito parcial para a
obtenção do título de Pós-graduação em
Engenharia de Recursos Minerais

Professor Orientador: Cláudio Lúcio Lopes Pinto

Julho 2012

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a Deus
aos meus pais, Myriam e Erlan
à Mila e minha irmã Clara
aos meus parentes e amigos*

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Cláudio Lúcio Lopes Pinto, meu orientador, pela sua atenção e ensinamentos passados durante a preparação do trabalho.
- Ao Prof. Paulo Roberto de Magalhães Viana pelo auxílio, paciência e atenção durante o curso de especialização.
- Aos funcionários e professores do Departamento de Engenharia de Minas da UFMG.
- Aos membros da Banca Examinadora, pela leitura do texto e pelas sugestões oferecidas ao trabalho.
- Aos parentes, amigos e amigas que não foram citados e que sempre estiveram comigo me auxiliando.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVO E RELEVÂNCIA	13
2.1	Objetivo Geral.....	13
2.2	Objetivos Específicos	13
2.3	Justificativa do Trabalho.....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1	Apresentação.....	14
3.2	Panorama Mundial das Rochas Ornamentais	14
3.2.1	Jazidas e Produção Mundial	14
3.2.2	Produção Nacional.....	16
3.2.3	Importação	18
3.2.4	Exportação	19
3.2.5	Consumo Interno	20
3.3	Histórico e Perspectivas das Rochas Ornamentais	21
3.4	Pesquisa Geológica	22
3.4.1	Programas Exploratórios Regionais	23
3.4.2	Pesquisa de Detalhe	24
3.5	Outros Fatores Determinantes para Viabilidade da Lavra.....	26
3.6	Lavra	27
3.6.1	Lavra de Matacões.....	29
3.6.2	Lavra de Maciços Rochosos	30
3.6.2.1	Lavra Tipo Fossa	32
3.6.2.2	Lavra Tipo Poço	33
3.6.2.3	Lavra por Desabamento	34
3.6.2.4	Lavra por Tombamento.....	35
3.7	Técnicas de Corte.....	40
3.7.1	Corte em Costura	42

3.7.1.1	Furos Espaçados (explosivos).....	42
3.7.1.2	Furos Adjacentes.....	43
3.7.1.3	Agentes Expansivos.....	45
3.7.2	Corte Contínuo.....	47
3.7.2.1	Fio Helicoidal.....	47
3.7.2.2	Fio Diamantado.....	48
3.7.2.3	Jato D'água ("Water Jet").....	49
3.7.2.4	Jato de Chama ("Flame Jet").....	49
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
4.1	Levantamento de Diretrizes Potenciais Geradoras de Custos.....	53
4.1.1	Corte em Costura.....	54
4.1.1.1	Furos Adjacentes.....	54
4.1.2	Corte Contínuo.....	54
4.1.2.1	Fio Helicoidal.....	54
4.1.2.2	Fio Diamantado.....	54
4.1.2.3	Jato de Chamas ("Flame Jet").....	55
5	RESULTADOS.....	56
5.1	Levantamento de Custos por Técnica de Corte.....	56
5.1.1	Corte em Costura.....	56
5.1.1.1	Furos Adjacentes.....	56
5.1.2	Corte Contínuo.....	57
5.1.2.1	Fio Helicoidal.....	57
5.1.2.2	Fio Diamantado.....	58
5.1.2.3	Jato de Chamas ("Flame jet").....	59
5.2	Inventário de Custos por Técnica de Corte.....	61
5.3	Análise de Mercado.....	62
6	CONCLUSÕES.....	63
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	64
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
9	ANEXOS.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Perfil da produção brasileira por tipo de rocha	17
Figura 3.2 – Perfil da produção brasileira por regiões	18
Figura 3.3 – Gráfico do faturamento e volume físico de importação de rochas ornamentais – 2009 e 2010.	19
Figura 3.4 - Gráfico do faturamento e volume físico de importação de rochas ornamentais – 2009 e 2010.	20
Figura 3.5 – Exemplo de pedreira ou “quarry”	28
Figura 3.6 – Exemplo de lavra de matacão	30
Figura 3.7 – Esquematização de lavra de maciços rochosos	31
Figura 3.8 – Exemplo de lavra tipo fossa	33
Figura 3.9 – Exemplo de lavra tipo poço	34
Figura 3.10 – Representações de lavras de desabamento amplo e seletivo.....	35
Figura 3.11 – Representações de métodos de fatias verticais de lavras por tombamento	36
Figura 3.12 – Representação da técnica de bancadas baixas do método de fatias horizontais.....	37
Figura 3.13 – Representação da técnica de bancadas altas do método de fatias horizontais.....	38
Figura 3.14 – Representações das técnicas de degraus das fatias horizontais.....	40
Figura 3.15 – Esquema das técnicas de corte de rochas ornamentais	41
Figura 3.16 – Representação esquemática de corte em costura com furos espaçados (explosivos).....	42
Figura 3.17 – Equipamento utilizado na técnica de furos adjacentes, denominado.....	44
Figura 3.18 – Ilustração da operação do Jato de chamas (“Flame jet”)	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Produção Mundial das Rochas Ornamentais – Perfil Histórico	15
Tabela 3.2 – Produção, Exportação e Importação – Dados Mundiais 2009 e 2010.....	16
Tabela 3.3 – Principais Estatísticas – Brasil – 2008 a 2010	21
Tabela 3.4 – Características de Lavras em Reservas com Geomorfologia Distinta.....	32
Tabela 5.1 – Inventário Econômico de Aplicação das Técnicas de Corte de Rochas Ornamentais.....	61

RESUMO

A extração de rochas ornamentais é uma atividade cada vez mais constante no mundo, e o Brasil desempenha um papel de destaque na produção deste material, figurando em 2007 como o 5º maior produtor mundial. Seu principal uso atualmente é em acabamento final de obra, como um produto com grande valor econômico agregado. São duas as etapas principais de extração das rochas ornamentais, a etapa de lavra e a de corte, sendo a última o objeto de estudo deste trabalho. Existem várias técnicas de corte para a extração das rochas ornamentais. Algumas demandam um alto valor de investimento. Outras, que caíram em desuso, estão sendo substituídas por técnicas modernas, que normalmente apresentam melhor custo-benefício e operacionalidade. Um dos grandes impasses que os produtores encontram ao dar início à lavra de uma jazida é o método de corte a ser adotado, uma vez que este depende de uma série de fatores, tais como uma análise minuciosa do tipo de material a ser extraído, da geometria deste material, entre outros. Assim, este trabalho traz uma apresentação dos tipos de corte utilizados no panorama mundial, com suas principais vantagens e desvantagens, além de apresentar um inventário econômico onde é possível avaliar, entre as técnicas que se aplicam para a jazida, a mais viável do ponto de vista econômico.

Palavras-chave: Rochas Ornamentais; Inventário Econômico; Técnicas de Corte

ABSTRACT

The extraction of dimensional stone has been more common in the world, and Brazil plays a prominent role in production of this material. In 2007 it was the 5th largest producer. Its main use today is in buildings finishing, being a product with great economic value. There are two main steps in the process of dimensional stones extraction: the mining and the cutting. The last step is the object of the present study. There are several cutting techniques for the extraction of dimensional stones, some of which require a high investment value. Others, that have fallen into disuse, have been replaced by modern techniques, which typically show better cost effectiveness and operationally. One of the most important barriers that producers face to initiate the operation of mining a deposit is a cutting method to be adopted, since it depends on a number of factors, such as a detailed analysis of the type of material to be extracted, the geometry of the material, among others. Thus, this study presents the types of cutting techniques used on the world scene, with their main advantages and disadvantages. It also presents an economic discussion making it possible to evaluate, of all techniques that can be applied to the deposit, the most feasible from the economical point of view.

Key Words: Dimensional Stones, Economic Inventory, Cutting Techniques

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se encontra entre os cinco maiores produtores mundiais de rochas ornamentais, que são empregadas como elemento estrutural de monumentos, na fabricação de concreto e na construção civil, entre outros (MEC, 2007).

As rochas ornamentais e de revestimento abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados de formas variadas e beneficiados. Seus principais campos de aplicação incluem peças isoladas (esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral) e edificações, onde se destacam os revestimentos internos externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, etc. (Chiodi, 1995).

Ainda de acordo com Chiodi (1995), esse tipo de rocha define uma das mais promissoras oportunidades de negócios do setor mineral, apresentando um crescimento médio da produção mundial estimado em 6% a.a. na década de 90. A alavancagem desse mercado pode ser percebida ao referir-se que a produção mundial evoluiu de 1,5 milhões de t/ano, na década 20, para um patamar de 40 milhões de t/ano na década de 90.

A cadeia produtiva das rochas ornamentais apresenta duas etapas tidas como essenciais: a lavra e o beneficiamento. O beneficiamento representa um importante estágio do ponto de vista econômico por agregar valores aos produtos e proporcionar a verticalização das empresas produtoras. Esta fase compreende, basicamente, as etapas de serragem de blocos de rocha bruta e, eventualmente, placas rústicas, para a produção de chapas, o acabamento de suas superfícies e a formatação de peças, padronizadas ou não.

Já a fase de lavra, é tida como pilar da cadeia produtiva das rochas ornamentais, e compreende as metodologias empregadas no desenvolvimento físico das jazidas e as técnicas de liberação de blocos de rocha, tanto para o isolamento de volumes primários e secundários como no seu esquadreamento, que, neste trabalho, serão chamadas de cortes (Menezes, 2005).

A presente monografia é fundamentada nas tecnologias de corte comumente utilizadas na exploração de maciços rochosos no Brasil, onde é feito um comparativo de viabilidade econômica frente às características diversas das jazidas.

O trabalho se encontra estruturado da seguinte forma: no capítulo 3, têm-se uma revisão bibliográfica onde é apresentado o panorama mundial das rochas ornamentais – jazidas, produção nacional, importação, exportação e consumo interno -, o histórico e perspectiva das rochas ornamentais e uma pesquisa geológica apresentando os programas exploratórios regionais, tipos de lavras existentes e as técnicas de corte utilizadas.

No capítulo 4 têm-se uma descrição da metodologia utilizada para que tal comparativo pudesse ser elaborado, e o resultado encontrado é apresentado no capítulo 5, onde se encontra um inventário com as tecnologias de corte de rochas comparadas utilizando o custo aproximado de cada uma.

O capítulo 6, da conclusão, procura sintetizar as discussões dos capítulos anteriores e o capítulo 7 apresenta algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 OBJETIVO E RELEVÂNCIA

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho apresenta como objetivo geral fazer um comparativo dos aspectos econômico-operacionais das tecnologias de corte mais conhecidas no panorama mundial de extração de rochas ornamentais.

2.2 Objetivos Específicos

- Fazer um levantamento dos dados econômicos de cada técnica estudada;
- Fazer um levantamento dos dados técnicos de cada técnica estudada;
- Realizar um inventário com a comparação dos aspectos econômico entre as técnicas estudadas.

2.3 Justificativa do Trabalho

O trabalho justifica-se a partir do momento em que a escolha da técnica de corte a ser utilizada na jazida se torna um impasse aos investidores do ponto de vista econômico. Em geral, existem dois ou mais tipos de técnicas que tecnicamente se aplicam ao tipo de lavra que deve ser utilizada em uma jazida. Nestes casos, a melhor escolha deve ser aquela que apresenta o melhor resultado econômico. Assim, os resultados desta pesquisa trazem um comparativo de custo entre as principais técnicas de corte e proporcionam o desenvolvimento de parâmetros para um melhor planejamento do plano de corte.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Apresentação

A presente revisão bibliográfica foi elaborada visando apresentar os aspectos gerais e conhecimentos diversos sobre as rochas ornamentais e de revestimento, nacional e internacionalmente.

Serão abordadas as características do mercado desse bem mineral, como, por exemplo, a oferta mundial, produção, consumo, exportação e importação. Serão apresentados, também, técnicas e métodos de lavra, por exemplo, por matacões ou maciços rochosos, corte e beneficiamento.

3.2 Panorama Mundial das Rochas Ornamentais

3.2.1 Jazidas e Produção Mundial

Segundo dados do DNPM (2010), o Brasil apresentava em 2009 reservas minerais de aproximadamente 27 bilhões de toneladas, sendo que a parcela lavrável deste montante corresponde a apenas 7 bilhões de toneladas, aproximadamente. De acordo com DNPM (2011), as reservas mundiais não apresentam estatísticas sólidas e por isso, não serão apresentadas neste trabalho.

Com relação à produção mundial, no ano de 2007 foram produzidas cerca de 103,5 milhões de toneladas de rochas ornamentais em todo o mundo, o que representou uma produção aproximada de 1,13 bilhões de m² de chapas processadas. Como pode ser observado na

Tabela 3.1, ao longo dos anos houve um crescimento gradativo da produção global, fruto do desenvolvimento de novas tecnologias de lavras e beneficiamento do mineral retromencionado. (Chiodi & Kistemann, 2009).

Tabela 3.1 – Produção Mundial das Rochas Ornamentais – Perfil Histórico

Ano	Mármore		Granitos		Ardósias		Total
	1.000 t	%	1.000 t	%	1.000 t	%	1.000t
1926	1.175	65,6	175	9,8	440	24,6	1.790
1976	13.600	76,4	3.400	19,1	800	4,5	17.800
1986	13.130	60,5	7.385	34,0	1.195	5,5	21.710
1996	26.450	56,9	17.625	37,9	2.425	5,2	46.500
1998	29.400	57,6	19.000	37,3	2.600	5,1	51.000
2000	34.500	57,8	21.700	36,3	3.450	5,9	59.650
2002	39.000	57,8	25.000	37,0	3.500	5,2	67.500
2004	43.750	53,9	33.000	40,6	4.500	5,5	81.250
2006	53.350	57,5	34.800	37,5	4.600	5,0	92.750
2007	60.500	58,5	37.500	36,2	5.500	5,3	103.500

Fonte: Chiodi & Kistemann, 2009.

De acordo com Chiodi & Kistemann. (2009), o país que mais produziu rochas ornamentais em 2007 no mundo foi a China, com produção em torno 26,5 milhões de toneladas (t), seguida da Índia, com 13,0 milhões de t, e Brasil, Turquia e Itália, todos com produção aproximada de 8,0 milhões de t.

Devido à crise do setor imobiliário dos EUA em 2008, culminando em uma crise econômica mundial naquele mesmo ano, esperava-se que o setor se estabilizasse ou recuasse nos próximos anos (Chiodi & Kistemann, 2009). Contrariando as expectativas e impulsionado pela rápida recuperação da economia, o mercado mundial das rochas ornamentais demonstrou em 2010 um crescimento contínuo, ao ser comparado com os valores dos anos anteriores. A China permaneceu como o maior produtor mundial, com valores em torno de 33 milhões de t, seguida pela Índia em segundo lugar, com 13,3 milhões de t, pela Turquia em terceiro, com 10 milhões de t, e pelo Brasil, com aproximadamente 9 milhões de t, como pode ser observado na Tabela 3.2 (DNPM, 2011).

Segundo DNPM (2011), o Brasil ficou na sexta posição no ranking mundial de exportações de rochas ornamentais em 2009, com exportações na faixa de 1,67 milhões de t, representando 3,9 % das exportações mundiais conforme apresentado na Tabela 3.2. Quanto às importações de 2009 o Brasil não apresentou valores expressivos e por isso não apareceu na tabela de importações mundiais, constituindo apenas parte integrante da parcela de “Outros países”.

Tabela 3.2 – Produção, Exportação e Importação – Dados Mundiais 2009 e 2010

Discriminação	Produção (2010)		Exportações (2009)		Importações (2009)	
	(10 ³ t)	%	(10 ³ t)	%	Países	(10 ³ t)
Brasil	8.900	8,0	1.672,6	3,9	Alemanha	1.554,40
China	33.000	29,6	18.817,40	43,6	China	7.964,30
Índia	13.250	11,9	4.906,40	11,4	Coréia do Sul	5.387,30
Turquia	10.000	9,0	6.004,00	13,9	EUA	4.375,10
Irã	8.500	7,6	-	-	Itália	1.967,20
Itália	7.800	7,0	4.408,00	10,2	Japão	1.838,50
Espanha	5,750	5,2	1.840,00	4,3	Taiwan	1.315,90
Egito (e)	3.500	3,1	-	-	Bélgica	1.070,90
Portugal	2.750	2,5	813,2	1,9	Espanha	983,5
EUA	1.850	1,7	407,6	0,9	Reino Unido	767,6
Grécia	1.650	1,5	469,2	1,1	França	634,9
França	1.150	1,0	119,5	0,3	Polônia	612,2
Outros países	13.400	12,0	3.669,10	8,5	Outros países	5.952,10
TOTAL	111.500	100,0	43.127,00	100	TOTAL	34.423,90

Fonte: DNPM, 2011.

3.2.2 Produção Nacional

De acordo com o DNPM (2011), o valor de produção atingido pelo Brasil em 2010 de 8,9 milhões de t, representou um aumento de 17% da produção no ano anterior (2009). Tal acontecimento ocorreu por influência de um conjunto de fatores, tais como o crescimento do mercado interno e das importações, e a reestruturação do mercado dos EUA.

Dentre os diversos produtos das rochas ornamentais, os produtos de maior destaque no ano de 2010 foram os granitos e similares que corresponderam a quase 50% da produção total deste mesmo ano, como demonstrado na Figura 3.1.

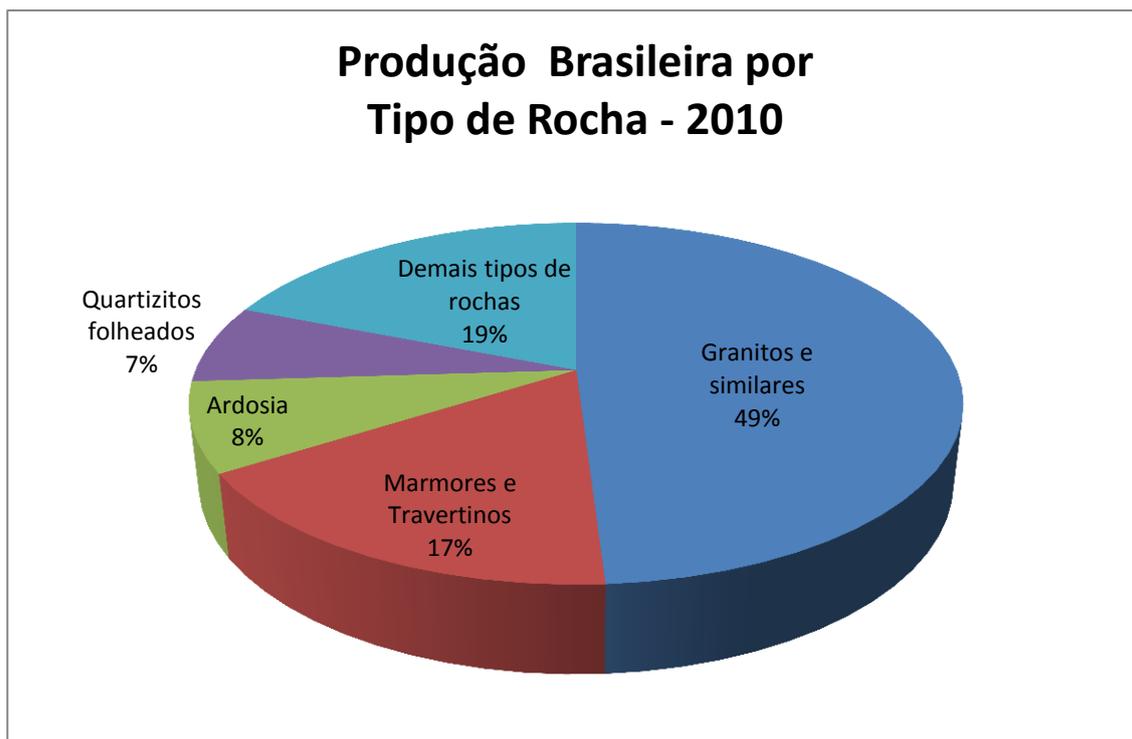


Figura 3.1 – Perfil da produção brasileira por tipo de rocha
Fonte: DNPM, 2011.

Ainda conforme o DNPM (2011) vale ressaltar que a distribuição da produção pelas regiões do Brasil é bastante desigual, uma vez que 65,2% desta produção concentrou-se na região sudeste do país, como pode ser observado na Figura 3.2.

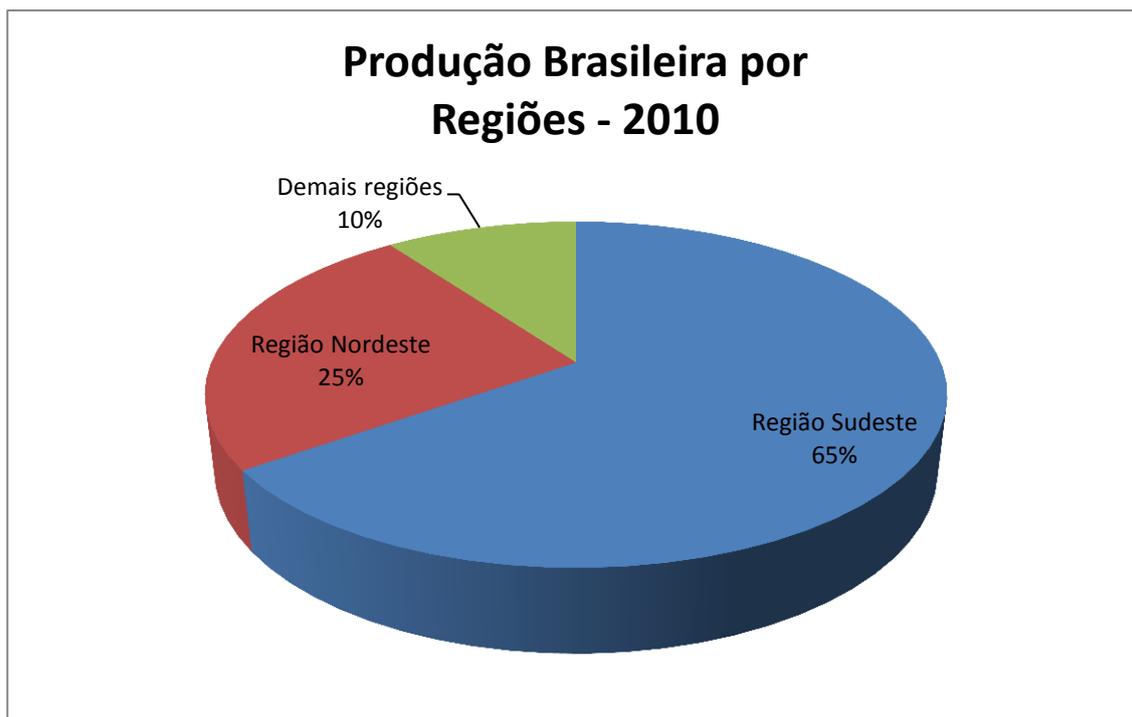


Figura 3.2 – Perfil da produção brasileira por regiões
Fonte: DNPM, 2011.

A região Nordeste em conjunto com região Sudeste totalizam 90% da produção nacional, sendo que os estados das regiões supramencionadas responsáveis por essa marca são Minas Gerais (grande produtor de ardósias, quartzitos folheados e pedra-sabão), Espírito Santo, Bahia, Ceará, Paraná, Rio de Janeiro, Goiás e Paraíba.

3.2.3 Importação

Apesar do Brasil não configurar nas estatísticas como um importador de destaque, detectou-se um aumento de 27% do volume importado em 2010 (90,9 mil t), em referência ao ano de 2009 (66,6 mil t). O volume físico importado do ano de 2010 atingiu o valor de US\$ 51,44 milhões em faturamento, o que representou um incremento de 42,47% em comparação ao ano anterior (2009), evidenciado na Figura 3.3 (DNPM, 2011).

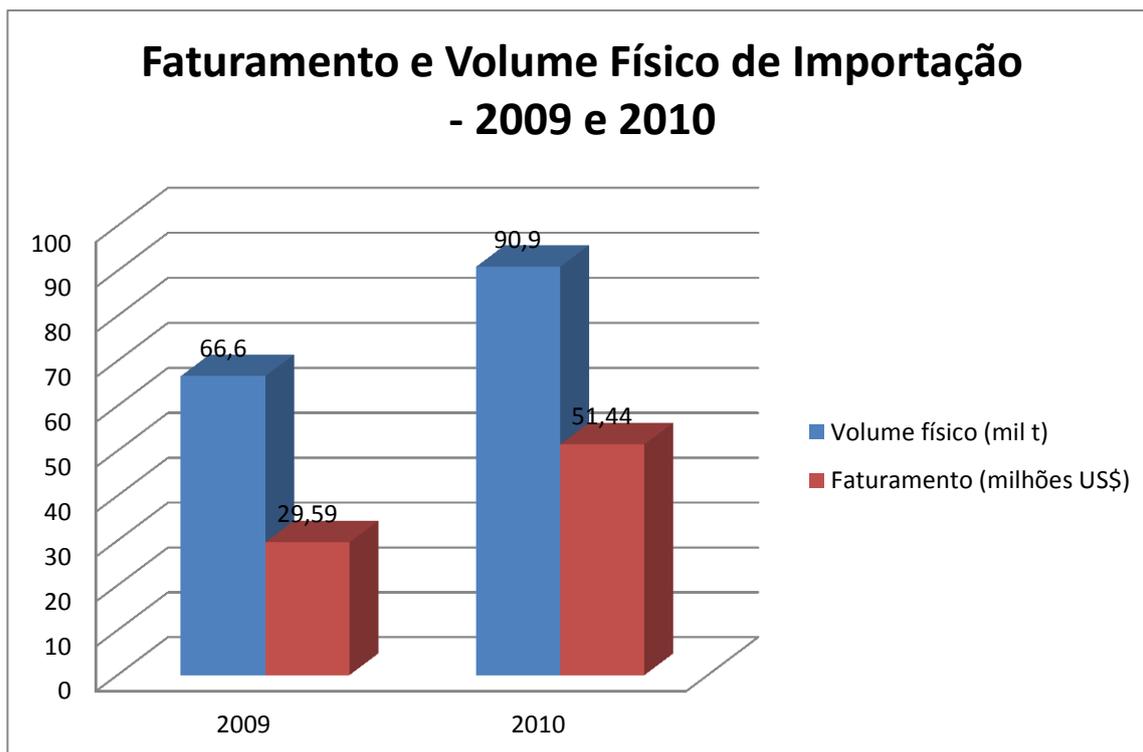


Figura 3.3 – Gráfico do faturamento e volume físico de importação de rochas ornamentais – 2009 e 2010.
Fonte: Adaptado DNPM, 2011 e ABIROCHAS, 2011.

De acordo com a ABIROCHAS (2011), o fator responsável pelo crescimento das importações em 2010 foi o aquecimento do mercado imobiliário vivido pelo país desde o ano anterior.

3.2.4 Exportação

Segundo ABIROCHAS (2011), as exportações de rochas ornamentais e de revestimentos atingiram em 2010 2,24 milhões de t, com faturamento de US\$ 959,19 milhões. Houve um crescimento expressivo frente ao ano de 2009, algo em torno de 33%, tanto em faturamento quanto em volume exportado, como pode ser observado na Figura 3.4.

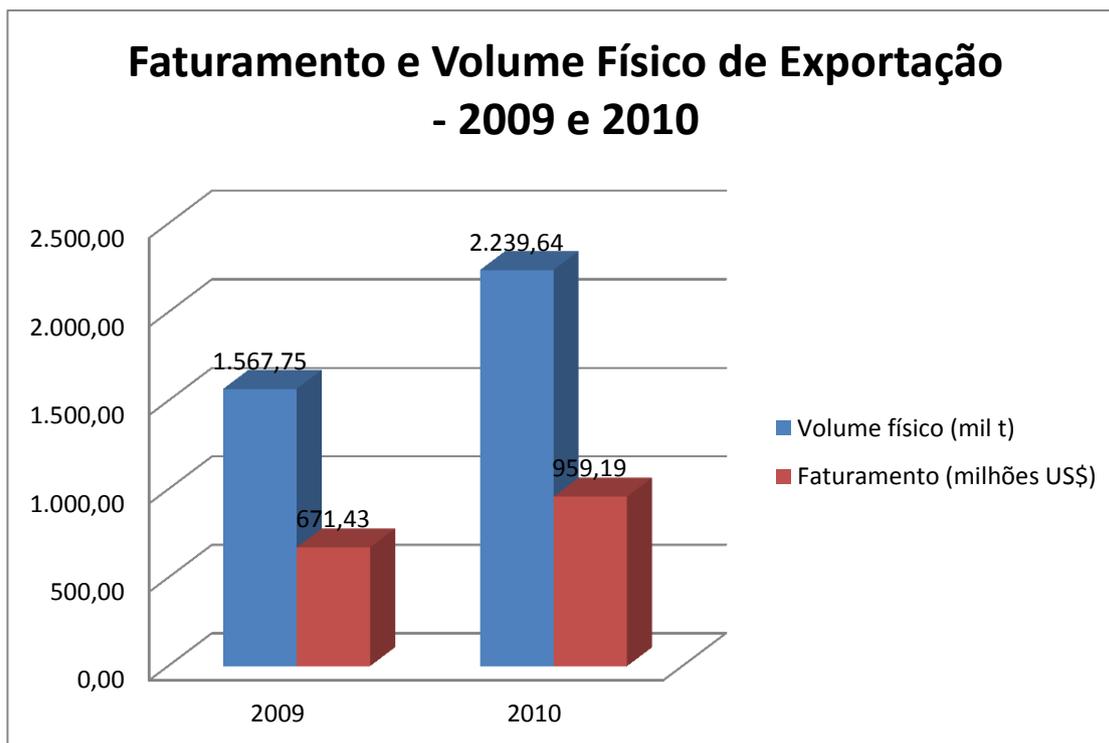


Figura 3.4 - Gráfico do faturamento e volume físico de importação de rochas ornamentais – 2009 e 2010.
Fonte: Adaptado DNPM, 2011 e ABIROCHAS, 2011.

3.2.5 Consumo Interno

Conforme mencionado anteriormente, devido ao crescimento no setor da construção civil vivido pelo país atualmente, o consumo aparente de rochas ornamentais em 2010 também respondeu da mesma forma, atingindo valores próximos a 7,7 milhões de toneladas. Este montante representou um aumento de 15,6% em relação ao ano anterior, como pode ser observado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Principais Estatísticas – Brasil – 2008 a 2010

Discriminação		Unidade	2008	2009	2010
Produção	Produção total de rochas	(t)	7.800.000	7.600.000	8.900.000
Importação	Mármore em bruto	(t)	20.140	14.910,15	21.242,96
		(10 ³ US\$ FOB)	8.819,29	6.557,16	10.494,35
	“Granitos” em bruto	(t)	1.058	621,32	1.786,83
		(10 ³ US\$ FOB)	374,48	348,86	1.475,72
	Rochas processadas	(t)	70.044	51.082,74	67.910,05
		(10 ³ US\$ FOB)	42.416,43	29.196,98	39.467,34
Exportação	Mármore em bruto	(t)	6.651	5.646	4.865
		(10 ³ US\$ FOB)	1.895,95	895,67	1.462,29
	“Granitos” em bruto	(t)	905.895	803.952	1.191.892
		(10 ³ US\$ FOB)	178.024,48	142.092,07	223.426,92
	Rochas processadas	(t)	1.075.352	863.026,73	1.042.782
		(10 ³ US\$ FOB)	774.620,55	581.070,19	734.303,76
Consumo Aparente Estimado	Rochas ornamentais e de revestimentos	(t)	5.900.000	6.500.000	7.700.000

Fonte: Adaptado de DNPM, 2011.

Vale ressaltar, que o aquecimento do setor da construção civil foi responsável também pelo crescimento no valor das importações em 2010 em comparação com o valor do ano de 2009, uma vez que, apesar da produção de 2010 ter sido consideravelmente superior à de 2009, o valor da exportação nesse mesmo ano também foi maior que o valor do ano anterior (DNPM, 2011).

3.3 Histórico e Perspectivas das Rochas Ornamentais

Em tempos antigos, os blocos rochosos eram utilizados na concepção estrutural de diversas construções. Atualmente, as rochas perderam essa funcionalidade e foram substituídas pela combinação de concreto e armações metálicas, combinação esta que demonstra um aprimoramento no desempenho estrutural em relação às rochas (Chiodi, 1995).

Entretanto, pode-se verificar uma utilização expressiva de rochas na construção civil nos dias de hoje. Tal fato é devido à utilização das rochas ornamentais e de revestimento, ou comumente designadas como pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, cujas aplicações atuais são realizadas como peças

isoladas, como, por exemplo, na confecção de mesas, balcões, lápides, etc., e como revestimento externo e interno em edificações.

As rochas ornamentais são caracterizadas pelos tipos litológicos que permitem a extração em formas de blocos ou placas, os quais podem sofrer cortes em diversas formas e são beneficiados por meio de diversos acabamentos, como, polimento, esquadrejamento, lustro e etc.

Segundo Chiodi (1995) o mercado desse tipo de minério é promissor, com uma estimativa de crescimento médio de produção de 6% ao ano, entre os anos de 90 e 95. Tal expectativa deve-se a um conjunto de fatores que proporcionaram uma valorização significativa às rochas ornamentais. Entre estes fatores, destacam-se os avanços tecnológicos que proporcionaram novas técnicas de extração e produção de rochas anteriormente não comercializadas, e as novas utilizações na construção civil que permitiram soluções estéticas e funcionais.

Os tipos de rochas ornamentais mais utilizados comercialmente são o granito e o mármore. Outros tipos de rochas de revestimento, como os quartzitos, serpentinitos, travertinos e ardósias, são em menor escala.

A qualificação de uma rocha ornamental varia bastante de acordo com as suas características estéticas em cada jazida desse minério. Essas características são definidas principalmente pelos padrões desenho, textura, granulação e cromático, sendo o último o principal atributo para classificação de uma rocha ornamental. Sua característica cromática define as rochas, novamente, como clássicas, comuns ou excepcionais. Os materiais clássicos não sofrem influências do modismo, já os comuns são utilizados em larga escala na construção civil para revestimentos e os excepcionais são mais utilizados em peças isoladas, devido às suas peculiaridades (Chiodi, 1995).

3.4 Pesquisa Geológica

Como qualquer outro tipo de minério, antes de ser realizada sua extração é de suma importância à realização de uma pesquisa geológica, objetivando precisar a viabilidade

da lavra. Nesse momento serão avaliados os fatores técnicos que determinam as características de ocorrências do material, e os fatores de mercado e tecnológico, que servirão para a tomada de decisão do início da lavra ou do abandono do empreendimento (Mares Geologia e Mineração Ltda. *apud* Gomes, 2000).

De acordo com Chiodi (1995), os fatores geológicos, como, por exemplo, a distribuição espacial da rocha e as feições estéticas esperadas, entre outros, podem ser medidos por meio de condicionantes geológicas regionais e locais.

Os levantamentos geológicos, tanto em programas exploratórios quanto na pesquisa de detalhes, visam à definição de bons materiais, em termos de condição física e quantidade lavrável. Entretanto, é vital a avaliação dos fatores negativos de uma região antes da tomada de decisão.

3.4.1 Programas Exploratórios Regionais

As condicionantes geológicas regionais podem ser aferidas pela simples distinção dos ambientes, que permitem uma previsão de possíveis ocorrências de diferentes tipos de rochas na região estudada.

Gross *et al.* (1996) afirmam que esses ambientes apresentam parâmetros que possibilitam diferenciar potenciais reservas com o tipo de material desejado, o que acaba se tornando um guia para a prospecção dos materiais nas campanhas de avaliação regional.

Um exemplo dessa discriminação de parâmetros em granitos ocorre na busca de granitos movimentados e desenhados, que representam expressão de rochas gnáissico-migmáticas, e, por isso, esse tipo de material é procurado em faixas antigas de embasamento cristalino.

Com relação ao mármore, que representa expressão de rochas sedimentares carbonáticas, metamorfozadas e recristalizadas, um dos parâmetros determinantes para

localização de mármore negros, por exemplo, é a concentração de matéria orgânica e outras impurezas nos sedimentos carbonáticos na região.

Os programas exploratórios regionais tornam-se instrumentos importantes para o setor de rochas ornamentais, por delimitar as possíveis reservas de cada tipo de rocha ornamental e de revestimento, e por isso é recomendado que esse tipo de programa seja implantado pelo governo (Gross *et al.*, 1996).

3.4.2 Pesquisa de Detalhe

De acordo com Gross *et al.* (1996), a pesquisa detalhada se difere da pesquisa regional, por ser uma pesquisa mais específica que demonstrará resultados sobre a qualificação dos materiais e a viabilidade da lavra da jazida em estudo. Dentro dessa pesquisa são realizados trabalhos de reconhecimento e amostragem das variedades litológicas aflorantes, caracterização petrográfica de rochas selecionadas, tipificação e caracterização comercial dos materiais priorizados, cálculo de reservas, definição de métodos de lavra, testes de serragem e polimento, bem como *marketing* e avaliação de mercado dos produtos.

Essa etapa de estudos é muito importante porque ela definirá a viabilidade de extração do tipo de rocha ornamental desejado, por isso deve-se realizar um estudo bem aprofundado sobre as variedades litológicas aflorantes, como o mapeamento da distribuição do material em base planialtimétrica de escala adequada, o que permitirá observar as características estruturais, composicionais e fisiográficas. Ademais, zonas foliadas ou fraturadas podem demonstrar sinais de menor dimensão dos blocos lavráveis e causar problemas de resistência físico-mecânica das peças processadas, bem como ocasionar perdas nas lavras, fatores estes que poderão ser decisivos na tomada de decisão.

Outros fatores podem contribuir para a decisão de não lavar o material estudado, como a presença de minerais máficos e sulfetos, que causam problemas de polimento nas chapas e baixa resistência dos materiais beneficiados. Outro exemplo é a concentração de cristais grosseiros de fluorita e granada, que podem gerar fissuras na superfície das

chapas durante, ou após, o polimento. Vale ressaltar a importância de avaliar nódulos, encraves, pequenos diques e veios, principalmente em rochas homogêneas, devido a problemas com o padrão estético e perdas no esquadramento de peças (Chiodi, 1995).

A diferenciação litológica pode ser um entrave devido a possíveis diferenciações de padrão estético, corroborando para tipificações diferenciadas no mercado destes materiais. É imprescindível realizar uma análise da espessura do terreno, pois solos oriundos de intemperismo podem proporcionar alterações cromáticas principalmente nos granitos.

Os levantamentos geofísicos são utilizados para detectar feições de interesse em maciços rochosos. Tais levantamentos são realizados, principalmente, pelos métodos sísmicos (que avaliam fraturas em profundidade e heterogeneidades litológicas, revelando principalmente as fraturas concêntricas, além de apresentar resultados significativos na avaliação de blocos rochosos ou matacões), métodos elétricos (que detectam a fratura por meio da presença de água contida na mesma ou em cavernas), métodos magnetométricos (que indicam a geometria em profundidade, utilizados nas pesquisas de diques de rochas máficas) e métodos gravimétricos (que avaliam a existência de estruturas cársticas em rochas carbonáticas).

O cálculo do volume para determinação preliminar de reserva é realizado por meio de simulações de figuras geométricas (em relevos alongados) ou de seções transversais (em relevos abobadados) da frente considerada. Logo após a obtenção do volume calculado, alguns autores sugerem diminuir 20% deste volume, que representam o valor das imperfeições do relevo e do estéril, e do valor restante subtrair 50%, correspondentes ao valor de perda na etapa da lavra. O valor final corresponde a uma estimativa da reserva a ser recuperada, caso a lavra torne-se viável.

Chiodi (1995) menciona também a exigência da realização de sondagens objetivando maior exatidão na reserva estimada, bem como apresentar aspectos estruturais da mesma. A observação dos testemunhos de sondagem permite obter uma ilustração das porções verticais e horizontais do material lavrável.

Após a observação de viabilidade do material a ser lavrado, devem ser coletadas amostras de pequeno volume, que deverão ser submetidas a testes de serragem e polimento, para assim serem elaboradas peças de mostruário.

O próximo passo é o desenvolvimento de uma lavra piloto ou experimental, que se trata da última fase da pesquisa de detalhamento e caracterização de uma jazida. A lavra piloto, nada mais é do que uma versão reduzida da estrutura a ser desenvolvida para exploração da reserva desejada, somente durante o seu funcionamento será possível determinar os índices de recuperação do material aproveitável e definir a viabilidade econômica do empreendimento mineiro. Além disso, é importante mencionar que o mercado não tem uma resposta imediata, por parte dos consumidores, a novas frentes de lavra.

3.5 Outros Fatores Determinantes para Viabilidade da Lavra

As rochas ornamentais apresentam algumas características específicas de avaliação de viabilidade de implantação de lavra que as diferem de todos os outros tipos de minérios existentes. Por exemplo, para minérios de ouro, ferro, estanho e etc., busca-se a qualidade relacionada ao seu teor, ou à sua composição química favorável, enquanto que para as rochas ornamentais, a qualidade está relacionada ao seu aspecto visual (Matta, 2003).

De acordo com Reis (2003), por serem extraídas em forma de blocos ou placas, alguns parâmetros a serem avaliados são considerados apenas para a exploração desse tipo de material, como, por exemplo, a orientação e estética do material e a verificação da existência de trincas, alterações e impurezas. Segundo Sales (2003), em uma lavra de rochas ornamentais, aspectos como a distribuição espacial das descontinuidades (falhas, veios, fraturas de resfriamento e/ou tectônicas), defeitos da massa granulométrica (anomalias e diferenciações de composição, presença de xenófitos, nódulos de oxidação dentre outros) e exigências do mercado quanto ao padrão estético dos materiais (definidos pelas características geológicas/estruturais das rochas), são decisivos para o sucesso da lavra de uma determinada jazida.

Matta (2003), afirma que as rochas ornamentais sofrem exigências volúveis do mercado quanto à aparência do material pétreo, e, conseqüentemente, o mercado interfere consideravelmente na extração deste material, principalmente na recuperação da lavra.

É importante mencionar que na avaliação qualitativa e quantitativa do depósito, a busca de precisão deverá constituir o adensamento da pesquisa apenas na região que envolve, como é comumente denominada, a área de influência. Esta área trata-se das extrapolações conscientes, obtidas através do cruzamento dos dados expostos na frente de lavra, com informações anteriormente obtidas em outras etapas (mapeamento geológico, topografia, testes laboratoriais, sondagens e geofísicas) (Matta, 2003).

Além disso, Matta (2003) recomenda que sejam realizadas pesquisas e cubagens em volumes menores do maciço, objetivando assim maior segurança e precisão nas informações estimadas sobre seus aspectos internos, uma vez que, pesquisas e cubagens em volumes maiores dos maciços podem acarretar na omissão de parâmetros que representam problemas, como, por exemplo, mudança de textura de rochas, presença de diques, fraturas, entre outros. Tais problemas, caso não sejam detectados pela pesquisa, poderão ocasionar até o encerramento do empreendimento, tornando a lavra inviável.

3.6 Lavra

Segundo Hartman (1987), as rochas ornamentais são extraídas em forma de blocos retangulares de rocha com tamanhos e formas similares. Essa produção ocorre em locais conhecidos como pedreiras, ou como são denominadas em inglês “quarrying”. As pedreiras se assemelham com as minas a céu aberto, entretanto geralmente apresentam bancadas mais baixas e taludes mais verticais, diferentemente dos bancos de minas a céu aberto, como pode ser observado na Figura 3.5.

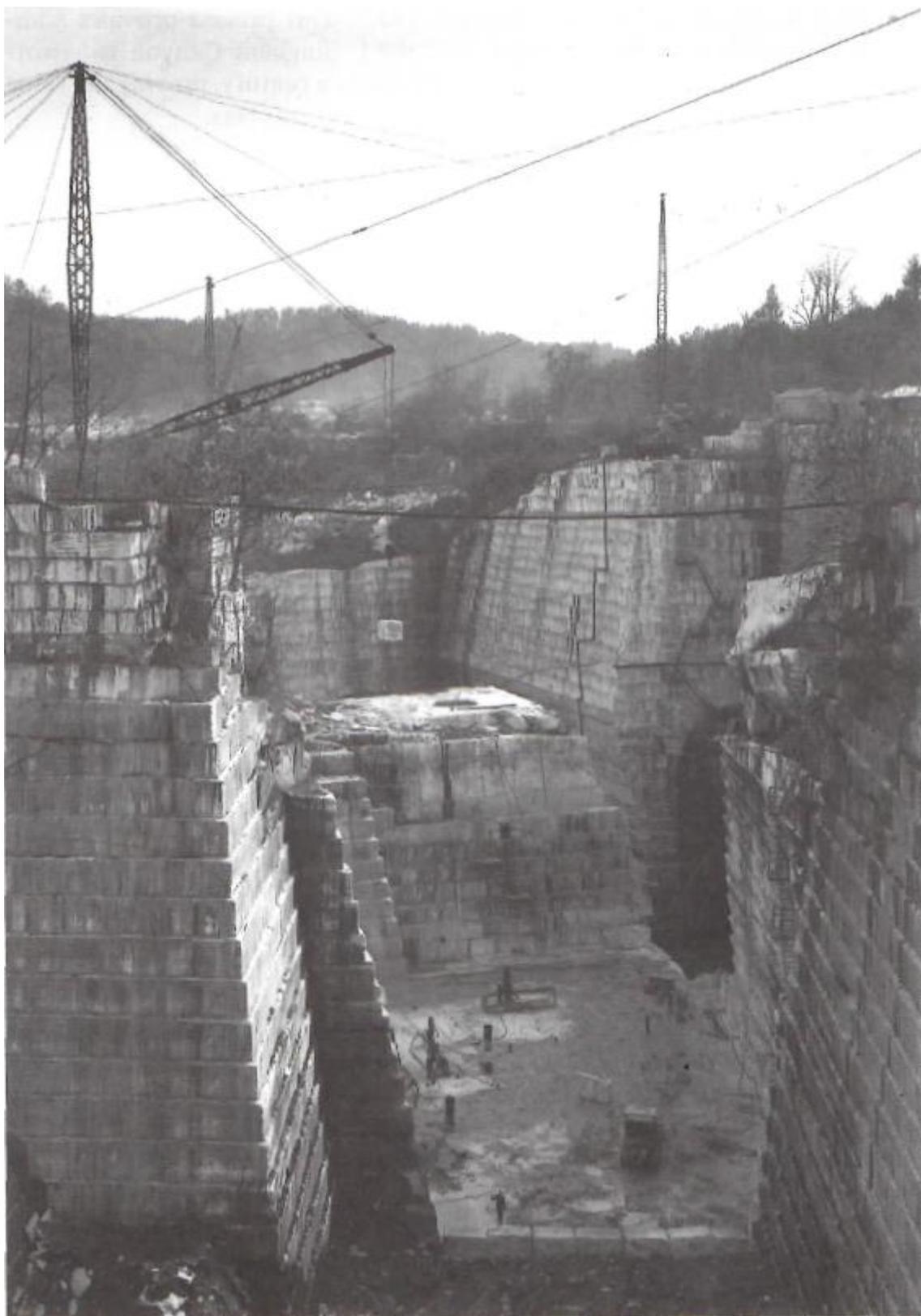


Figura 3.5 – Exemplo de pedra ou “quarry”
Fonte: Hartman, 1987

Conforme Chiodi (1995) existem duas formas de lavras de rochas ornamentais, a lavra de matacões e a de maciços rochosos. No Brasil, a mais utilizada para exploração de granitos é a de matacões, que oferece menor custo de lavra, apesar da lavra por maciços rochosos apresentar melhor controle de qualidade e taxa de recuperação.

3.6.1 Lavra de Matacões

De acordo com Chiodi & Ono *apud* Gomes (2000), matacões são aglomerações de blocos de rochas que sofreram ações de agentes intempéricos e foram individualizados por erosão (Figura 3.6). Eles são normalmente encontrados em formas aceboladas ou arredondadas devido à esfoliação concêntrica, e deslocados de sua posição original devido a rolamentos.

Os matacões representam, em superfície, a fragmentação do maciço rochoso original, derivados de diversas partes do maciço. Por isso, os matacões de uma mesma área podem não representar um padrão estético fiel, e, devido a este motivo, as lavras de matacões são aplicadas apenas para a exploração de granitos ou rochas silicatadas.

A viabilidade da lavra em matacões depende das dimensões dos mesmos e do retorno financeiro, uma vez que, para se empregar essa técnica de lavra, o retorno deverá ser no mínimo, o dobro do investimento. Na Itália, por exemplo, lava-se apenas matacões com volumes superiores a 100 m³.

Para realização do esquadrejamento dos matacões objetivando a extração do material, são utilizados cunhas manuais e explosivos. O que determinará a utilização de cada técnica é o tamanho do matacão. Para matacões com até 100 m³, são utilizados cunhas manuais para o esquadrejamento, acima deste valor, são utilizados explosivos para o desmonte da rocha.

Normalmente, os depósitos sob forma de matacões apresentam vida útil muito pequena e, em muitos casos, os matacões não são aflorantes, fatores estes que tornam difícil a previsão da produção da lavra (Chiodi & Ono *apud* Gomes, 2000).

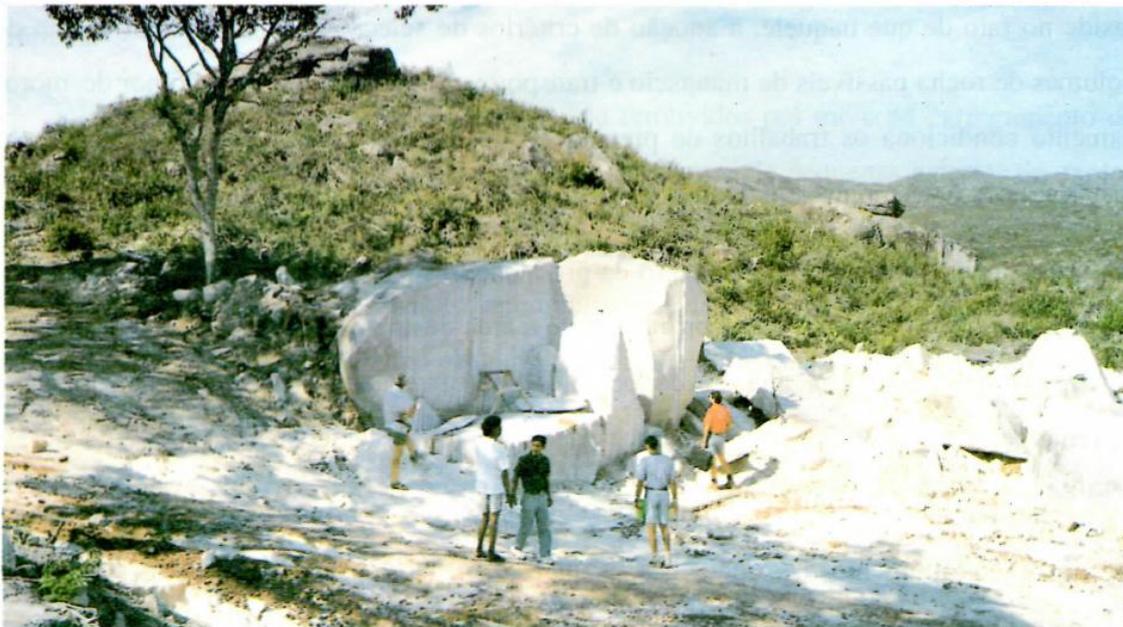


Figura 3.6 – Exemplo de lavra de matação
Fonte: Alencar *et al.*, 1996

3.6.2 Lavra de Maciços Rochosos

Segundo Chiodi & Ono *apud* Gomes (2000), a operação de uma lavra de maciços tem seu início quando apresenta todos os componentes necessários para o funcionamento da mesma, sendo os mais importantes: os degraus, praça principal, praças secundárias, pistas, rampas e frentes. Os degraus são a formação estrutural da lavra, que é constituído pela altura e a largura da bancada a ser desmontada. O local onde ocorrerá o esquadreamento final, objetivando facilitar o carregamento para o transporte, que também é realizado neste mesmo local, é denominado praça principal. Normalmente, a praça principal encontra-se na base da pedreira. As praças secundárias representam o local onde serão realizadas atividades de apoio ao desmonte das bancadas. Existem dois tipos de frentes em uma lavra, a frente geral e a frente de lavra. A frente geral representa o limite total a ser lavrado, enquanto que a frente de exploração é a porção da reserva a ser explorada no momento da extração do material.

As bancadas e os níveis são os principais elementos geométricos responsáveis pela definição dos itens economicamente interessantes para o aproveitamento da reserva a ser lavrada. As bancadas constituem a parcela do maciço exposto, na qual se podem observar volumes destacados dos itens procurados antes do esquadreamento. Os níveis

representam partes horizontais da jazida, onde podem ser realizadas as operações da lavra e proporciona uma economia maior em comparação à infraestrutura instalada. A Figura 3.7 demonstra um esquema de uma lavra de maciços rochosos.

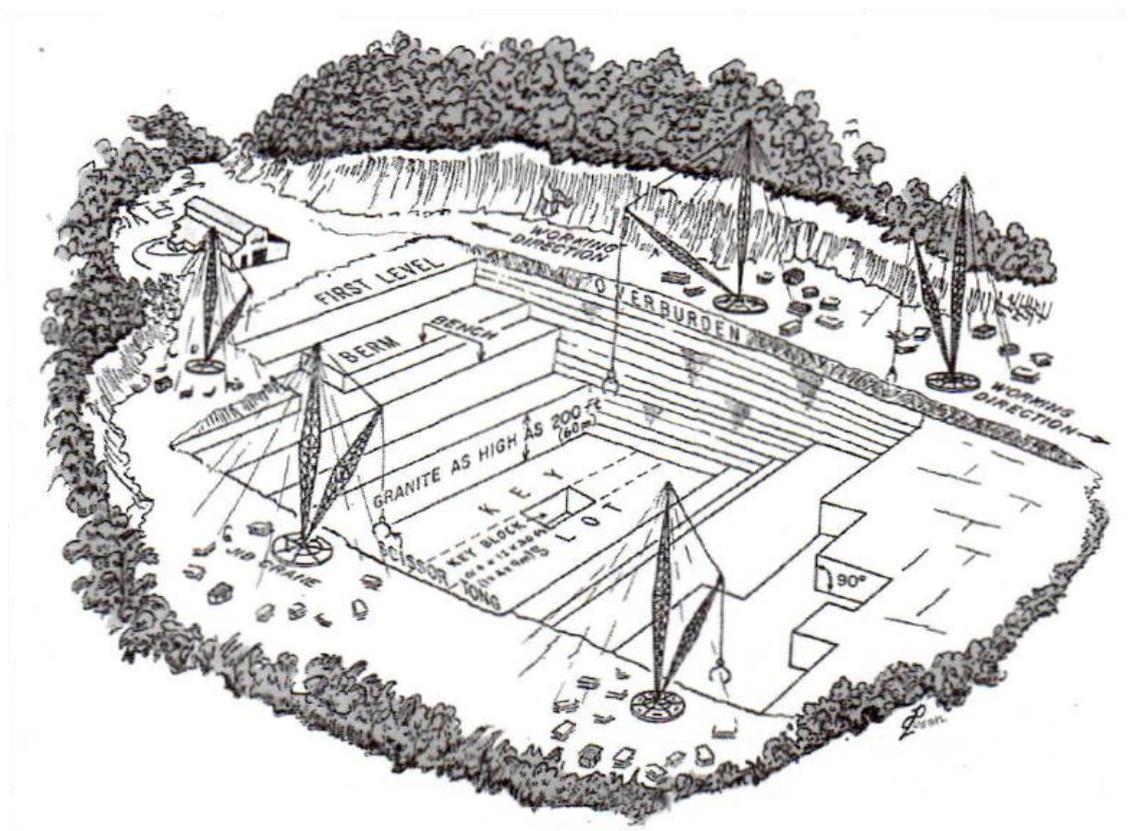


Figura 3.7 – Esquemática de lavra de maciços rochosos
Fonte: Hartman, 1987

O material estéril pode estar presente na cobertura ou intercalado ao material a ser lavrado. Quando o estéril está presente na cobertura, a sua remoção é realizada integralmente ou por partes. Posteriormente esse solo é armazenado para reposição futura após a desativação da pedreira. Quando se encontra entre o material desejado, o mesmo é removido durante o funcionamento da lavra (Chiodi, 1995).

A seguir é apresentada, na Tabela 3.4, a relação entre vantagens e desvantagens da implantação de uma lavra em determinadas jazidas que apresentam condições geomorfológicas específicas.

Tabela 3.4 – Características de Lavras em Reservas com Geomorfologia Distinta

Lavra	Acesso	Impacto paisagístico	Outros fatores
de base ou pé de encostas de relevo	Fácil e direto, sem necessidades de rampas	Reduzido e pode ser controlado por mascaramento da frente de trabalho, com a utilização de linhas de vegetação arbóreas ou relevos artificiais	Possibilidade de desfavorável afloramento de lençol freático e problemas de estabilidade dos taludes
de meia encosta	Acessos sinuosos, com rampas abertas na encosta	Significativo, devido a fácil visualização da operação da lavra	Recuperação da área mais difícil e onerosa, bota-fora de rejeitos mais complicado.
de topo	-	Geralmente menor que os da lavra de meia encosta, devido a possibilidade de evolução descendente da lavra	Maiores custos de implantação e problemas técnicos da operação

Fonte: Chiodi, 1995

O principal fator determinante para a definição de qual tipo de lavra será utilizado é a inclinação do terreno. Em superfícies horizontais, como planícies ou platôs elevados, os tipos de lavras que podem ser adotados são de fossa ou de posso. Para superfícies inclinadas, onde as reservas encontram-se em encostas, pode-se utilizar as técnicas de lavra por tombamento ou desabamento (Chiodi, 1995).

3.6.2.1 Lavra Tipo Fossa

De acordo com Chiodi (1995), a lavra tipo fossa pode ser realizada por explosivos ou mecanicamente. Quando o desmonte for efetuado por explosivos, a profundidade total atingível é algo em torno de 3 a 4 bancadas com alturas de 5 a 6 metros. Quando não, o aprofundamento da cava poderá ser superior. O acesso ao material é realizado por rampas inclinadas formadas pelos próprios taludes da cava, como pode ser observado na Figura 3.8.

A vantagem da utilização deste método é o pequeno impacto visual causado por ele, uma vez que as operações só podem ser vistas em pontos elevados. Entretanto, existe a necessidade constante de bombeamento, já que é muito frequente a interferência com aquíferos nesse tipo de lavra, e, por esse motivo, muitas vezes a recuperação da área é em função da utilização futura como reservatório de água para abastecimento e/ou lazer.



Figura 3.8 – Exemplo de lavra tipo fossa
Fonte: Pinheiro, 2003 *apud* Menezes, 2005

3.6.2.2 Lavra Tipo Poço

A lavra tipo poço pode atingir os mesmos níveis de profundidade da lavra tipo fossa, com a utilização dos mesmos agentes para o desmonte. O que difere a lavra tipo poço da lavra por fossa é o acesso. Na primeira opção, ele se dá por meio de rampas laterais com inclinações elevadas, o que torna esse processo mais oneroso, devendo ser utilizado em última estância (Figura 3.9). Além disso, é difícil realizar a pesquisa geológica, que é baseada em sondagens, pois a falta de espaço na cava torna o trabalho muito perigoso, além de apresentar problemas de afloramento de aquíferos e estabilidades de taludes ainda maiores que a técnica de lavra tipo fossa (Chiodi, 1995).



Figura 3.9 – Exemplo de lavra tipo poço
Fonte: Pinheiro, 2003 *apud* Menezes, 2005

3.6.2.3 Lavra por Desabamento

Segundo Chiodi (1995) esse tipo de lavra pode ser praticado em terrenos acidentados com complexos sistemas de fraturamento e dispendo de rochas muito valorizadas. Existem dois tipos de métodos de desabamento: o método de desabamento amplo e o método de desabamento seletivo, que objetivam segregar os fragmentos maiores para posteriormente serem selecionados e cortados em blocos.

Devido à evolução tecnológica e o aparecimento de novas técnicas, a maior importância das lavras de desabamento amplo é apenas histórica, por ter sido o método mais

utilizado para mármore até o aparecimento dos fios helicoidais. Como pode ser observado na Figura 3.10, esse método funcionava a partir da utilização de grandes cargas de explosivos em pequenas galerias, que geravam uma quantidade expressiva de material fragmentado e alguns blocos maiores. A recuperação é algo em torno de 10 a 15%, o que induz a utilização de grandes bota-foras, que chegam a atingir até 150% do volume desmontado.

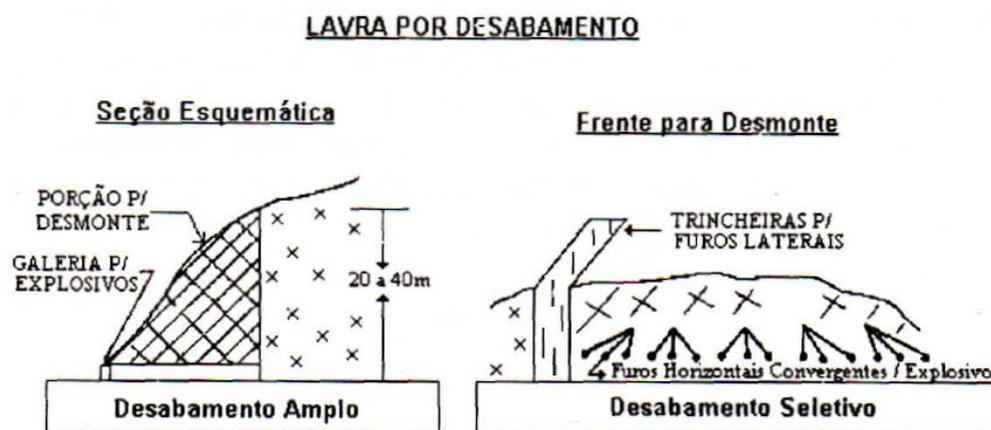


Figura 3.10 – Representações de lavras de desabamento amplo e seletivo
Fonte: Adaptado Chiodi, 1995

Por esse método apresentar a utilização de bastante energia sísmica, é normal a ocorrência de desmoronamentos não controlados, o que proporciona uma segurança de trabalho ínfima, e, conseqüentemente, uma produção descontínua e um impacto ambiental relevante, o que induz à utilização de métodos mais modernos.

3.6.2.4 Lavra por Tombamento

A lavra por tombamento é indicada para terrenos mais consistentes, que apresentem menor número de famílias de descontinuidades. Existem dois métodos para realização dessa forma de lavra que são por meio de fatias verticais ou horizontais. O diferencial na aplicação desses dois métodos é o fato de que as fatias horizontais são recomendadas para relevos com inclinações baixas (até 40°), enquanto as fatias verticais são utilizadas em terrenos mais acidentados e em terrenos nos quais a superfície é limitada (Chiodi, 1995).

3.6.2.4.1 Método de Fatias Verticais

Segundo Chiodi (1995) as duas técnicas utilizadas no método em questão são o tombamento integral de uma fatia individual e o tombamento fracionado de diversas fatias.

Para a aplicação dessas técnicas é necessário ter um controle de furação vertical de ótima qualidade e, mesmo assim, para painéis com alturas superiores a 12 metros, podem ocorrer desvios significativos. Uma desvantagem importante destes métodos é a limitada movimentação de equipamentos no topo do material a ser desmontado, em compensação, devido ao impacto no solo, ocorre à eliminação física dos materiais de má qualidade.

A Figura 3.11 ilustra a esquematização do tombamento integral e do tombamento fracionado.

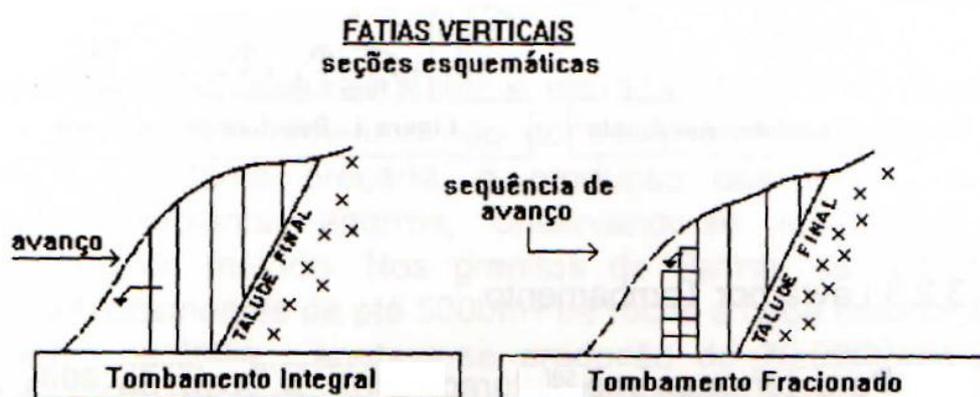


Figura 3.11 – Representações de métodos de fatias verticais de lavras por tombamento
Fonte: Adaptado Chiodi, 1995

3.6.2.4.2 Método de Fatias Horizontais

As técnicas de aplicação deste método são divididas em bancadas baixas, bancadas altas e degraus (Chiodi, 1995).

A diferença entre as técnicas que utilizam bancadas baixas e bancadas altas é que enquanto nas bancadas baixas (Figura 3.12) a altura da bancada, que pode ser de 1,5, 1,8

ou 3,0 m, representa uma das dimensões finais do material desejado proporcionando celeridade ao processo, nas bancadas altas, técnica também conhecida como método finlandês, são realizadas três etapas de corte. Na primeira etapa, origina-se o bloco primário, que consiste em um bloco com grandes dimensões totalmente despreendido da face da lavra. Logo após, este bloco é submetido ao segundo corte e o material resultante passa por um processo de tombamento em colchão de areia ou terra, quando se tem o bloco secundário. Depois, o bloco secundário é submetido a novo corte gerando assim o bloco final, como pode ser observado na Figura 3.13.

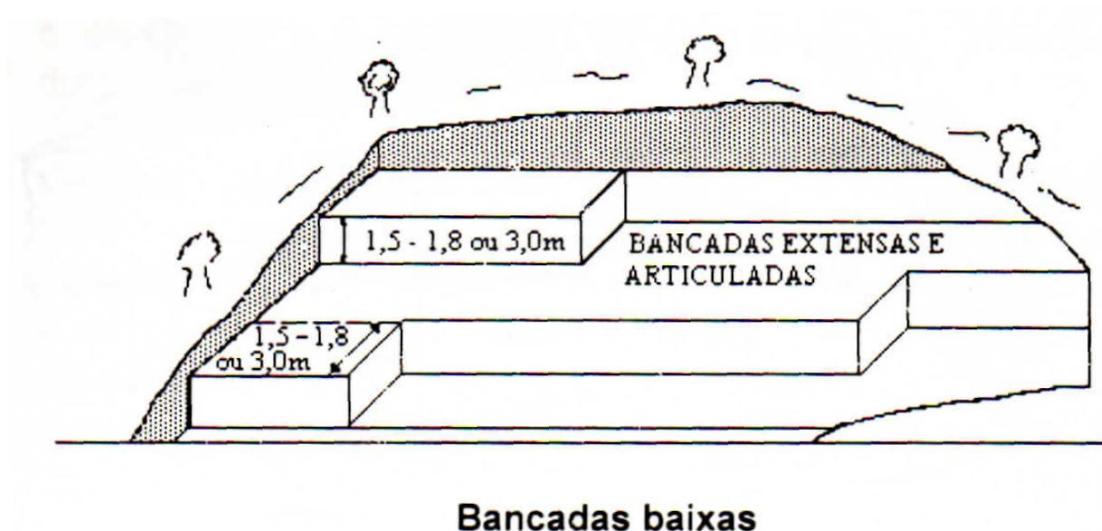


Figura 3.12 – Representação da técnica de bancadas baixas do método de fatias horizontais
Fonte: Adaptado Chiodi, 1995

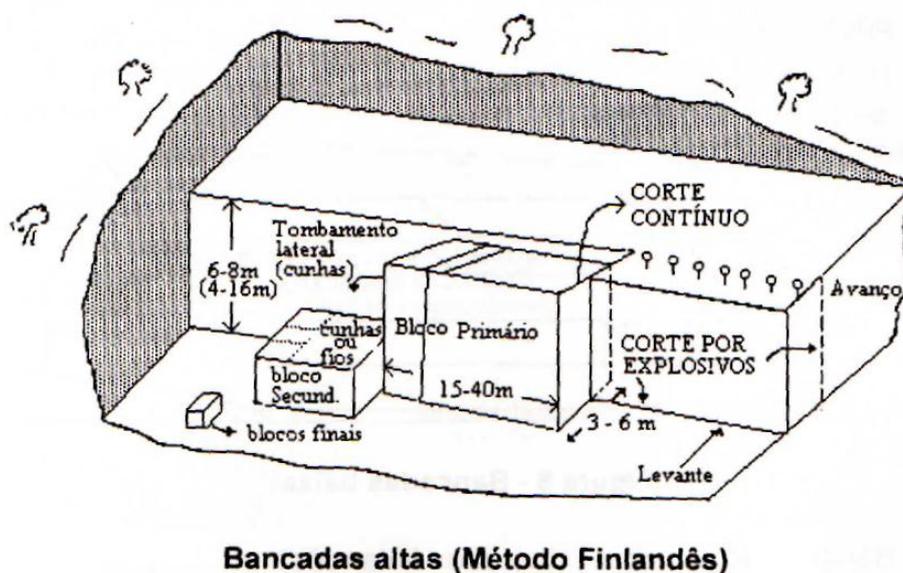


Figura 3.13 – Representação da técnica de bancadas altas do método de fatias horizontais
 Fonte: Adaptado Chiodi, 1995

Existem outros benefícios na utilização de cada uma destas técnicas. Na de bancadas baixas, há mais espaço para operações, o que facilita a mecanização. Por serem lavras extensas não é necessário paralisações. Apresenta baixa geração de rejeitos e o impacto visual pode ser bem reduzido, caso seja realizada a recuperação da área concomitantemente ao avanço da lavra. Já na de bancadas altas, no momento do tombamento do bloco secundário, ocorrem eliminações naturais de materiais indesejados (Chiodi, 1995).

A técnica de degraus também classificada como método de fatias horizontais, pode ser subdivida em degrau único, degraus múltiplos curtos, degraus múltiplos largos e degraus únicos sucessivos.

O degrau único é utilizado na presença de relevos baixos. O avanço é realizado horizontalmente e o acesso é bem simples, por meio de apenas uma rampa. Como vantagens, esse tipo de técnica permite maior seleção de blocos, frentes flexíveis em número e configuração, pouco impacto visual e é possível recuperar a área durante as operações da fase de lavra. Porém, a escala de produção deste tipo de técnica é pequena quando comparada as outras metodologias.

Quando são detectados relevos acidentados com rochas coerentes, deve-se aplicar a técnica de degraus múltiplos curtos. Uma das vantagens da utilização desta técnica é a relativa flexibilidade na composição da frente de avanço, o que por sua vez permite a seleção do material a ser lavrado. Outra vantagem do método é a possibilidade de alta escala de produção. Entretanto, vale ressaltar que como ponto negativo, o impacto visual é bem expressivo e de difícil recuperação da área minerada.

A técnica de degraus múltiplos largos é aplicada para relevos com declividades moderadas, o que permite a confecção de praças distintas em cada bancada. Uma das vantagens desta técnica é a seletividade do processo, já que, assim como no caso dos degraus múltiplos curtos, a configuração da frente de trabalho é relativamente flexível. Ademais, a escala de produção pode ser elevada e o impacto paisagístico é consideravelmente menor em comparação aos degraus múltiplos curtos e a recuperação da área pode ser iniciada durante o processo de lavra.

A aplicação da técnica de degraus únicos sucessivos é recomendada quando existe relevo íngreme com topo razoavelmente plano. A praça principal não é fixa, ela acompanha o avanço da lavra, que é realizado de forma descendente, dessa forma, a medida que é realizado o aprofundamento da lavra a praça principal sofre um rebaixamento de nível. Esta técnica permite uma considerável flexibilidade na composição das frentes e a possibilidade de escala de produção elevada.

A representação de todas as técnicas de degraus (devidamente denominadas) pode ser observada na Figura 3.14.

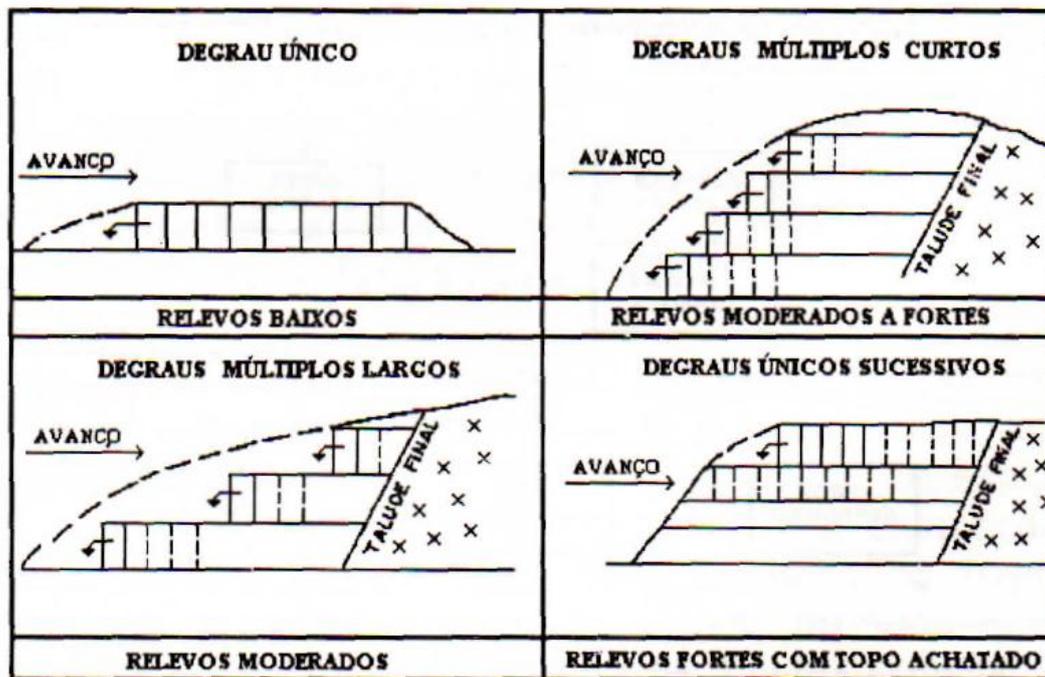


Figura 3.14 – Representações das técnicas de degraus das fatias horizontais
 Fonte: Adaptado Chiodi, 1995

3.7 Técnicas de Corte

Existem vários tipos de técnicas empregadas no corte das rochas ornamentais, e os parâmetros que definem a aplicação de cada técnica são as características físicas das rochas e condicionantes econômicas (Chiodi, 1995).

Como características físicas destacam-se:

- Morfologia,
- litologia,
- estrutura e
- geografia da reserva.

As características econômicas são definidas por:

- Caracterização comercial do produto,
- produção e
- dimensão mínima dos blocos extraídos.

Vale ressaltar que, atualmente, assim como em todas as outras etapas dos empreendimentos minerários, também são considerados os aspectos ambientais para a definição de aplicação de técnicas de corte. Conforme Matta (2003), as técnicas de corte de rochas ornamentais apresentam possíveis potenciais geradores de poluição ao meio ambiente, e em alguns casos, apenas as questões ambientais já são o suficiente para o descarte de algum método de corte.

Estes aspectos são detectados por meio de uma avaliação de impactos ambientais, como, por exemplo, efluentes líquidos (óleos lubrificantes oriundos da manutenção de máquinas e equipamentos), poluição atmosférica (poeiras e fumaça oriundos de diversos equipamentos), poluição sonora (equipamentos de desmonte de rocha), vibrações (causadas por detonações, perfuratrizes e martelotes pneumáticos) (Matta, 2003).

As técnicas de corte são divididas em duas categorias, de corte em costura e corte contínuo, sendo que ambas apresentam subdivisões de técnicas, como pode ser observado na Figura 3.15.

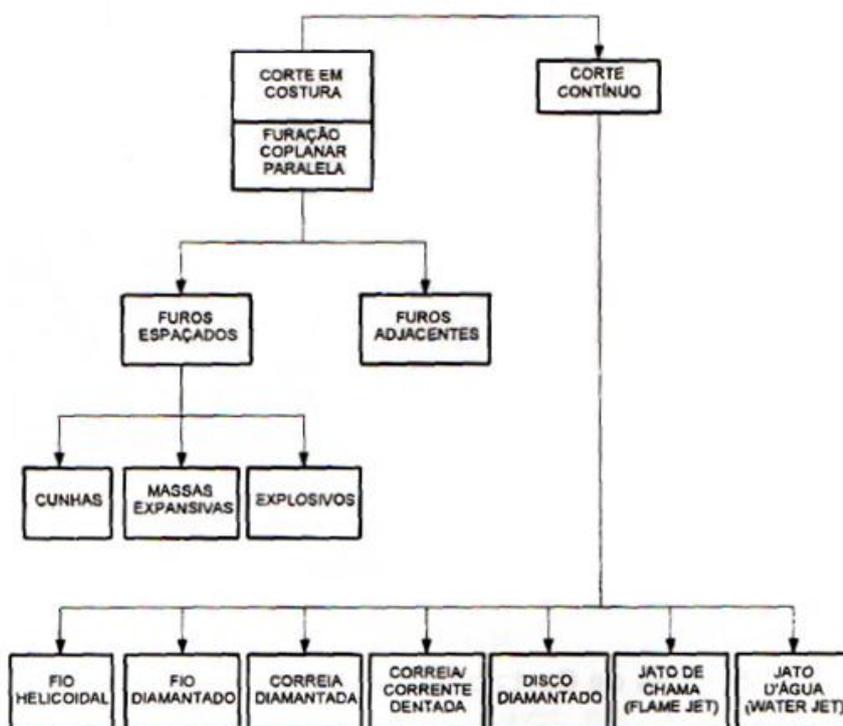


Figura 3.15 – Esquema das técnicas de corte de rochas ornamentais
Fonte: Chiodi, 1995

É importante mencionar que para o corte de mármore as técnicas mais utilizadas são as de corte contínuo, por serem técnicas que não utilizam explosivos. Quanto ao granito, as técnicas mais utilizadas são as de corte em costura (Chiodi, 1995).

3.7.1 Corte em Costura

De acordo com Chiodi (1995), o corte em costura é realizado por meio da execução de furos e posterior utilização de cunhas, explosivos ou massas expansivas. Os furos podem ser espaçados, quando objetiva-se a ruptura física do bloco, ou adjacentes, uma superfície de desacoplamento do bloco.

3.7.1.1 Furos Espaçados (explosivos)

A aplicação desta técnica de corte em costura é recomendada quando detectada a presença de planos horizontais e verticais, sendo possível realizar o desacoplamento simultâneo de superfícies perpendiculares contíguas (Figura 3.16). Normalmente o espaçamento entre furos é de 20 a 40 cm, o que corresponde a 8 a 10 vezes o diâmetro dos furos.

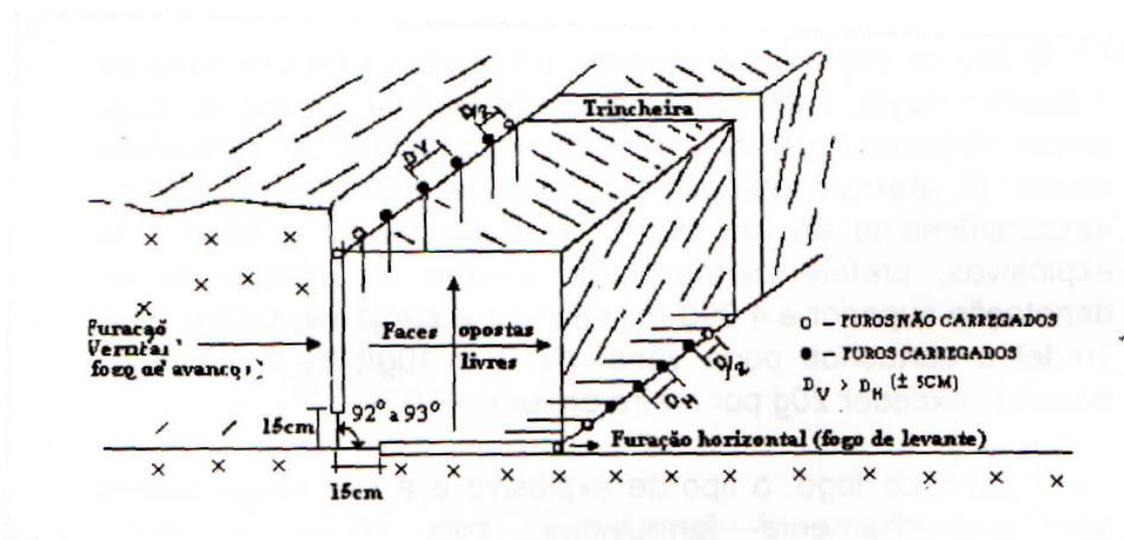


Figura 3.16 – Representação esquemática de corte em costura com furos espaçados (explosivos)
Fonte: Chiodi, 1995

Os explosivos frequentemente utilizados são a pólvora negra, nitrato de amônia (ANFO), cordel detonante (NP-5 e NP-10) e explosivos encartuchados. Apesar de serem estes os explosivos mais utilizados, é possível a utilização de outros tipos de explosivos nesta técnica. O desacoplamento provocado pelos explosivos deve ser em torno de 10 a 50 cm.

É imprescindível a determinação criteriosa do plano de fogo (explosivo e a carga a serem utilizados, espaçamento e afastamento dos furos, etc.) objetivando evitar a microfissuração e o fraturamento do bloco. Por não existir precisão na medição dos efeitos gerados pelo explosivo, uma vez que é possível ter reações à detonação diferenciadas em um mesmo maciço, o melhor plano de fogo é, em geral, definido empiricamente.

O desacoplamento do bloco por meio de detonação deve ser realizado simultaneamente em apenas em duas faces. A utilização de explosivos para a detonação simultânea de mais uma face poderia causar uma sobrecarga de energia, o que, por sua vez, poderia causar fissuras e fraturas no material. Por isso, em conjunto com os explosivos, é utilizada a técnica de trincheira aberta para liberação de uma terceira face, que pode ser executada com “*flame jet*”, técnica de corte contínuo que será apresentada no decorrer deste trabalho, e que apresenta melhores resultados na absorção do impacto da detonação e maior precisão no desacoplamento do bloco (Chiodi & Ono *apud* Gomes, 2000).

3.7.1.2 Furos Adjacentes

Como o próprio nome sugere, esta é uma técnica de corte em costura na qual são realizados furos coplanares adjacentes. Estes furos são abertos por equipamentos dotados de até três perfuratrizes pneumáticas ou hidráulicas, percussivas ou rotativas, que trabalham simultaneamente, montadas sobre cremalheiras, responsáveis pelo deslocamento das perfuratrizes. Este conjunto é denominado, segundo Alencar *et al.* (1996), “*slot drill*” ou talha bloco (Figura 3.17). Como resultado, são obtidos planos verticais liberados (Chiodi & Ono *apud* Gomes, 2000).

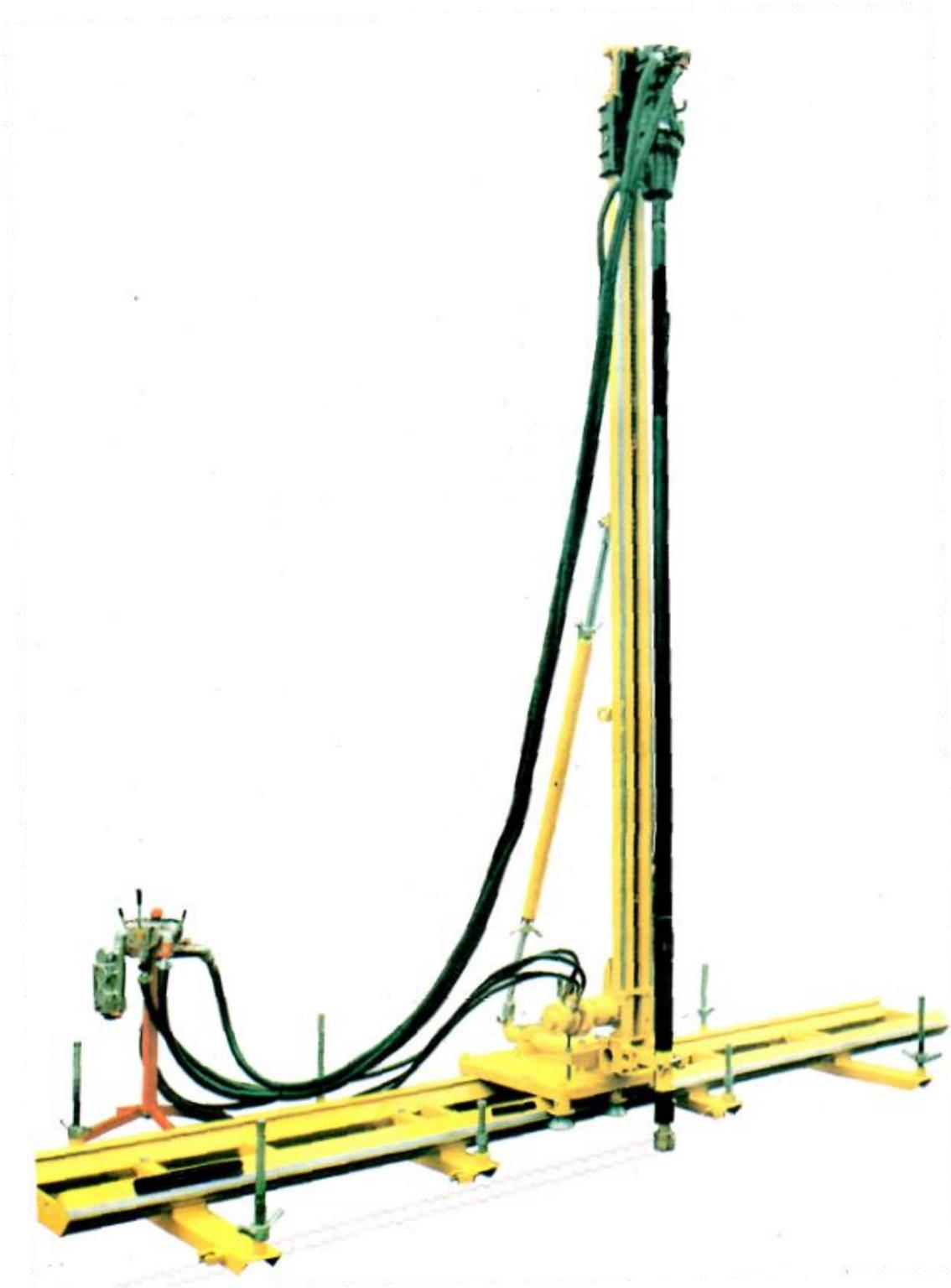


Figura 3.17 – Equipamento utilizado na técnica de furos adjacentes, denominado Talha Bloco (“Slot-Drill”)
Fonte: Alencar *et al.*, 1996

O diâmetro dos furos pode atingir até 60 mm. Atualmente existem equipamentos que permitem a execução de furos mais largos na base, permitindo o tombamento facilitado dos blocos.

Ainda segundo Chiodi & Ono *apud* Gomes (2000), essa técnica é mais aplicada para lavras de granitos movimentados, que apresentam maior sensibilidade a impactos, porém, a lavra exige um ótimo controle de furação e a utilização de técnicas complementares, objetivando liberação de planos horizontais.

3.7.1.3 Agentes Expansivos

A técnica de agentes expansivos é utilizada, normalmente, diretamente sobre o bloco de rocha a ser dividido. Por se tratar de uma técnica que apresenta um processo de corte vagaroso e com custos elevados de aplicação, tem sido utilizada com restrição. A utilização desta técnica em pedreiras não apresenta boas perspectivas, sendo empregada com mais frequência em demolições de obras civis.

As soluções mais utilizadas para ruptura de blocos com o auxílio de agentes expansivos são por meio de cunhas mecânicas ou hidráulicas e por argamassas expansivas. Esses dispositivos são utilizados apenas para o corte de pequenas superfícies, uma vez que para em superfícies mais profundas ocorrem problemas operacionais que dificultam a utilização desta técnica. (Alencar *et al.*, 1996),

Contrariando as expectativas de Alencar *et al.* (1996), Pinheiro (1999) afirmou que, no estado do Espírito Santo, pode-se observar uma preferência expressiva das empresas do setor na utilização de argamassa expansiva para o corte de rochas ornamentais em detrimento a técnicas que utilizam explosivos ou cunhas de expansão.

Tal preferência decorre dos benefícios advindos da aplicação desta técnica, entre eles, por exemplo, maior preservação da integridade física-mecânica dos blocos, maior taxa de recuperação, maior produtividade, impacto ambiental reduzido, maior segurança de trabalho, devido ao fato de não utilizar explosivos, entre outros.

Segundo Bartoli (2010), o custo da argamassa é um pouco superior ao custo dos explosivos, mas por apresentar elevadas produtividade e recuperação, esta técnica apresenta um custo benefício final mais vantajoso.

A técnica de divisão de blocos empregando argamassa expansiva consiste na introdução de uma massa expansiva, formada por um pó, com composição química definida em função da temperatura ambiente, associado à água, em furos coplanares realizados previamente no bloco de rocha. Esta mistura pode expandir-se em até 100% gerando uma pressão de 800 Kg/cm^2 nas paredes dos furos (Menezes, 2005).

De acordo com Pinheiro (1999), após sua preparação essa massa apresenta um aspecto cremoso, homogêneo e fluido que deve ser introduzida nos furos num prazo de 5 a 15 minutos.

Os furos devem estar secos e limpos e a argamassa expansiva deve ocupar o espaço do furo em sua totalidade. Em dias de chuva, deve-se utilizar nos furos capas impermeáveis. Quando houver a presença de rochas porosas ou com temperaturas elevadas sugere-se que os furos sejam umedecidos, objetivando a reação normal da expansão da massa (Pinheiro, 1999). Alanis (2002) *apud* Menezes (2005) afirma que o espaçamento dos furos é determinado em função do diâmetro dos furos e das características do material.

Segundo Pinheiro (1999), o processo de corte é mais rápido quanto menor for o espaçamento e maior for o diâmetro do furo, uma vez que o tempo de reação é determinado principalmente pela quantidade e tipo de argamassa utilizada em função da temperatura ambiente, características mecânicas e geológicas das rochas e direção do corte.

3.7.2 Corte Contínuo

Segundo Chiodi (1995), o corte contínuo é a técnica de corte utilizada sem a utilização de explosivos e nem furação. Neste tipo de corte o desacoplamento da superfície é realizado por equipamentos com fios helicoidais, fios diamantados, correias dentadas/diamantadas, discos diamantados, jato de chama e jato de água.

3.7.2.1 Fio Helicoidal

Essa técnica é bastante utilizada para o corte de mármore. O equipamento é constituído de um conjunto motor, roldanas e três fios trançados que formam o helicóide. Com o auxílio do motor, o fio helicoidal se movimenta por meio de roldanas a uma velocidade de 10 a 15 m/s, submetido a uma força de 150 a 250 kgf. O equipamento é posicionado em poços, furos de grande diâmetro e trincheiras laterais, para o início do corte, sendo definido assim o plano de corte.

Durante o processo é utilizada uma polpa abrasiva de água com areia para o resfriamento do fio proporcionar o avanço efetivo. A proporção da mistura é de 70% de água e 30% de areia.

A função da trança helicoidal é o transporte da polpa abrasiva. Tem-se como prática a inversão na trama do fio helicoidal a cada 5 a 6 metros. Tal medida proporciona a homogeneização da distribuição da areia, maior exatidão na execução do plano de corte e redução dos desgastes do fio helicoidal. A velocidade do corte é de 1 a 2 m²/hora, sendo importante atentar para o equilíbrio entre o desgaste do fio e a velocidade de corte (Chiodi, 1995).

Existem diferentes espessuras de fios para execução de corte dos blocos, eles são selecionados em função da área de corte. Para cortes menores é recomendado o fio com espessura de 3,5 mm. Para cortes intermediários utilizam-se fios com 4,5 mm e para cortes maiores são utilizados fios de 6,0 mm. Para o critério de seleção do diâmetro do fio também é considerado o comprimento do fio necessário para a execução do corte de uma área específica.

3.7.2.2 Fio Diamantado

De acordo com Crespo *apud* Gomes (2000), essa técnica utiliza pérolas diamantadas inseridas intercaladamente nos fios, que apresentam o mesmo diâmetro das pérolas (10 mm). São utilizados para o corte de mármore ou granitos pobres em quartzo, tanto para planos horizontais quanto para verticais. A posição das pérolas diamantadas nos fios varia de acordo com o material a ser cortado. Para granitos, as pérolas são espaçadas em 2,5 cm, enquanto que, para mármore, são colocadas a cada 3,0 cm.

A velocidade média de corte é diferente para cada material, nos granitos é de 2,5 m²/hora e nos mármore ela pode atingir 15 m²/hora. Em comparação com a técnica de fios helicoidais, a velocidade de corte é bem superior podendo ser até 15 vezes superior para o corte de mármore.

Atualmente observa-se certa preferência pela aplicação desta técnica; Isso porque o fio diamantado apresenta alta produtividade, menores perdas na lavra e no beneficiamento, além de apresentar um custo de investimento em equipamentos não muito maior quando comparado ao fio helicoidal, proporcionando um retorno financeiro rápido. Aconselha-se, ainda, a aplicação desta técnica em lavras já iniciadas que apresentem aspectos mercadológicos e técnicos definidos (Chiodi, 1995).

3.7.2.3 Jato D'água (“*Water Jet*”)

Rochas granulares ou que apresentem textura granoblástica, ou sacaróidal, são potenciais candidatas a utilizar a técnica chamada de jato d'água, ou como comumente é conhecida “*water jet*”. Esta técnica proporciona o corte por escarificação, ou seja, pelo arranque dos grãos. Observa-se atualmente uma maior utilização desta técnica em arenitos e em rochas que apresentem fragilidade aos explosivos e resistência aos fios em geral, como é o caso dos quartzitos e migmatitos (granitos movimentados).

Características de aplicação desta técnica, como a pressão do jato d'água que varia entre 100 e 300 MPa, definem a maior ou menor precisão e rendimento desta metodologia. As substâncias que compõem o jato podem ser água pura ou água associada a abrasivos. A distância da aplicação do jato medida entre o bico e a superfície da rocha, deve ser de 2 a 10 cm. A velocidade do corte pode atingir 3,5 m²/hora em rochas silicosas e silicatadas, e pode alcançar 15 m²/hora em caso de arenitos impuros. Objetivando atingir uma maior profundidade do corte é possível aplicar jatos oscilantes, permitindo aberturas mais largas, o que por sua vez, permite a entrada do tubo que sustenta o bico.

Esta técnica ainda não é muito utilizada nas pedreiras de rochas ornamentais, porém a perspectiva é muito boa, devido a grande precisão proporcionada pelo jato d'água, ainda mais quando se tratar de materiais excepcionalmente valorizados (Chiodi, 1995).

3.7.2.4 Jato de Chama (“*Flame Jet*”)

Comumente conhecido como “*flame jet*”, o corte por jato de chama é muito aplicado no início da lavra, ainda na fase de pesquisa. Recomenda-se a utilização dessa técnica quando forem encontrados terrenos irregulares. As vantagens da aplicação desta técnica é o baixo custo do investimento e o fato de apresentar fácil manuseio e transporte dos equipamentos (Chiodi, 1995).

Atualmente, esta técnica vem sendo utilizada apenas para a abertura de trincheiras nas bancadas. O corte é realizado por meio de dilatação térmica diferencial e por crepitação dos silicatos e quartzos, por esse motivo recomenda-se a aplicação desta técnica apenas

para rochas silicatadas e que, de preferência, sejam homogêneas. Em casos de heterogeneidades texturais, como a presença de minerais máficos e vesículas de quartzo, existe a possibilidade de ocorrer vitrificação, o que prejudicaria o corte.

Conforme Chiodi (1995), os cortes realizados pelo jato de chama alcançam até 8 metros de profundidade, devido ao comprimento da lança do equipamento, e a espessura varia de 8 a 10 cm. A ação do calor prejudica os planos laterais que compõem o corte, o que corrobora para uma perda em torno de 30 a 35 cm de espessura do material.

Com o objetivo de evitar o superaquecimento, principalmente no encontro dos planos perpendiculares de corte em maiores profundidades, adota-se trabalhar com cortes na faixa de 4 a 5 m de profundidade. Além disso, simultaneamente ao corte é adicionada água, para o resfriamento das paredes, proporcionando assim menores perdas laterais.

A velocidade média de corte é de 1,2 m²/hora, e para seu funcionamento os equipamentos utilizam o oxigênio, o óleo diesel (2.500°C), ou ar comprimido aquecido (1.500°C).

É importante mencionar que o alto nível de ruídos, algo em torno de 130 a 140 decibéis, o calor e a produção elevada de material particulado, configuram as grandes desvantagens de aplicação dessa técnica.

A Figura 3.18, a seguir, ilustra a operação do jato de chama.



Figura 3.18 – Ilustração da operação do Jato de chamas (“*Flame jet*”)
Fonte: Alencar *et al.*, 1996

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo descreve a metodologia utilizada e os materiais coletados para subsidiar a elaboração do trabalho em questão.

Foram realizadas pesquisas em materiais bibliográficos e catálogos de diversas empresas, bem como pesquisas realizadas diretamente com empresas atuantes no segmento de rochas ornamentais. Estas pesquisas permitiram obter os dados para subsidiar a avaliação dos aspectos econômicos, desde a aquisição dos equipamentos até a aplicação das técnicas de corte de rochas ornamentais, sendo elas de corte em costura e de corte contínuo. Com estes parâmetros foi possível realizar um inventário financeiro, que levou a resultados conclusivos sobre os custos envolvidos em todo o processo de corte para cada técnica, possibilitando também relacionar valores comerciais para sua aplicação.

O critério utilizado para realização da comparação entre cada técnica de corte apresentada no inventário foi o a determinação do custo total para o corte de um m² de rocha.

A pesquisa orçamentária realizada a fim de embasar o inventário, foi elaborada considerando o orçamento mais vantajoso, ou seja, o de menor custo. Para isso foi determinado um mínimo de três cotações de cada item necessário para a aplicação das técnicas de corte de rochas ornamentais.

O valor adotado para o cálculo da mão de obra utilizada em cada técnica foi estabelecido de acordo com os pisos salariais definidos na Convenção Coletiva de Trabalho 2011/2012 dos Sindicatos dos Trabalhadores nas Indústrias da Construção, do Mobiliário e da Extração de Mármore, Calcário e Pedreiras de Pedro Leopoldo, Matozinhos, Prudente de Moraes, Capim Branco e Confins, e da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais (SINDUSCON-MG, 2011).

É importante mencionar que algumas técnicas (furos espaçados, jato d'água ou "*water jet*" e de argamassa expansiva) não foram abordadas no desenvolvimento deste trabalho. A avaliação orçamentária da técnica de furos espaçados necessita da cotação

de explosivos, o que não foi possível realizar visto que existem diversas restrições para a comercialização destes produtos. Quanto à técnica de jato d'água, por apresentar um custo elevado dos equipamentos (CAPEX), não foi contemplada no presente trabalho. Chiodi, (1995) exemplifica este fato apresentando um equipamento com o custo em torno de U\$\$ 300.000,00 ou R\$ 610.260,00 (cotação do dia 08 de julho de 2012). Tal custo supera o valor integral de todos os outros processos que serão abordados a seguir. A técnica de argamassa expansiva, apesar de apresentar um custo benefício maior em comparação às outras técnicas, também foi excluída dessa avaliação, por apresentar como grandes vantagens, fatores relacionados à recuperação, escala de produção e meio ambiente, que não foram abordados diretamente nesta avaliação. Assim, no aspecto custo de investimento (CAPEX) e operação (OPEX), a utilização da técnica de argamassa expansiva encontra-se em patamares econômicos superiores em comparação às técnicas apresentadas a seguir.

Além disso, foram desconsiderados no presente trabalho os gastos com energia. Todos os processos citados a seguir efetuam gastos energéticos por meio de equipamentos e esses gastos foram definidos como uma constante, ou seja, ele foi considerado igual em todos os processos.

Com relação à água utilizada em determinados processos, é muito comum em atividades minerárias ocorrer a utilização de mananciais superficiais ou subterrâneos para o abastecimento das demandas de água dos processos dessa atividade. Para tal utilização é necessário a realização e apresentação de estudos técnicos ambientais perante os órgãos reguladores nacionais, estaduais e/ou municipais responsáveis pela manutenção, controle e gerenciamento destes corpos d'água. Em algumas regiões do Brasil esse tipo de utilização é possível mediante ao pagamento de taxas enquanto em outras regiões e necessária somente a outorga de utilização da água. Por isto o valor do custo da água não foi inserido na avaliação orçamentária das técnicas de corte das rochas ornamentais.

4.1 Levantamento de Diretrizes Potenciais Geradoras de Custos

A elaboração do inventário financeiro de cada técnica foi realizada a partir da avaliação das diretrizes potenciais geradoras de custos para a execução do corte em todas as

técnicas. Essa avaliação abordou os materiais utilizados, a operação do equipamento ou do processo, a mão de obra necessária para o desenvolvimento do corte, entre outros. A seguir são listadas as referidas diretrizes separadas por cada técnica de corte das rochas ornamentais.

4.1.1 Corte em Costura

4.1.1.1 Furos Adjacentes

- Equipamentos;
- Mão de obra.

4.1.2 Corte Contínuo

4.1.2.1 Fio Helicoidal

- Equipamentos;
- Abrasivo;
- Mão de obra.

4.1.2.2 Fio Diamantado

- Equipamentos;
- Mão de obra.

4.1.2.3 Jato de Chamas (“*Flame Jet*”)

- Equipamentos;
- Combustível;
- Comburente;
- Mão de obra.

5 RESULTADOS

No presente capítulo serão apresentados os resultados obtidos pela pesquisa de mercado realizada conforme a metodologia descrita no capítulo anterior, bem como o inventário comparativo entre os valores obtidos para cada técnica.

5.1 Levantamento de Custos por Técnica de Corte

5.1.1 Corte em Costura

5.1.1.1 Furos Adjacentes

O equipamento escolhido por meio da pesquisa de mercado foi o “*Slot Drill*” ou Talha Bloco – muito utilizado atualmente para execução da técnica de furos adjacentes - MW-600 da empresa Wolf, cujo funcionamento é pneumático e apresenta suporte para até dois martelos. O custo deste equipamento, de acordo com cotação realizada em julho de 2012, é de R\$ 28.000,00.

Com relação à mão de obra, um operário de uma pedreira tem um piso salarial de R\$ 783,55/mês (SINDUSCON-MG, 2011). De acordo com Chiodi (1995), a produtividade média de um talha blocos pneumático é de 1,1 m²/hora e, conforme informações obtidas com o fabricante, um único operário consegue operar o talha blocos. Então, o custo da mão de obra para o corte de um m² de rocha é de aproximadamente R\$ 3,56.

5.1.2 Corte Contínuo

5.1.2.1 Fio Helicoidal

Os equipamentos necessários para a aplicação desta técnica de corte são a máquina de fios e o fio helicoidal.

A máquina de fios selecionada foi a LCF 75 da empresa Metalgran, com motor de 75 cavalos e velocidade de corte de 0-45 m/segundo. O custo desta máquina é de R\$ 85.000,00.

O fio helicoidal selecionado foi um cabo polido da empresa Siva Cabos de Aço, cujo diâmetro é 11 mm com o custo é de R\$ 5,01/metro. Conforme Alencar *et al.* (1996), o comprimento do fio para execução de cortes em mármore deve ser algo em torno de 1.000 a 4.000 metros. Considerando o valor intermediário (2.500 metros) o custo total de investimento para utilização do fio helicoidal é de R\$ 12.525,00. Entretanto, de acordo com Pereira, Roberto e Amaral (1997) *apud* Menezes (2005), a vida útil do fio helicoidal é em média 15 a 20 m/m², o que corresponde a um custo de operação de R\$ 87,68 para o corte de um m² de rocha.

Quanto ao material abrasivo a ser utilizado, o menor preço de areia encontrado na pesquisa de mercado foi de R\$ 47,00 o metro cúbico na empresa Comercial Dunas. Segundo Chiodi (1995), no processo de corte por fio helicoidal utiliza-se cerca de 2 a 3 kg de areia/minuto na fase inicial, e na fase final, a adição de areia é reduzida, gradativamente, até 50% do valor da alimentação inicial. Tendo conhecimento de que o peso específico da areia é em média 1700 kg/m³, pode-se dizer que 1 kg de areia ocupa 0,00059 m³, posteriormente pode-se concluir que o preço do kg de areia na empresa selecionada pela cotação realizada é de R\$ 0,03.

Ainda de acordo com Chiodi (1995), a velocidade do corte situa-se entre 1 a 2 m²/hora. Sendo assim, para o corte de 1 m² de rocha são necessários 40 minutos, e que para este tempo é necessária a adição de 75 kg de areia. Então, o custo total de areia para o corte de um m² de rocha é de R\$ 2,25.

Conforme Alencar *et al.* (1996), a mão de obra necessária para o corte de uma superfície de rocha, utilizando-se a técnica do fio helicoidal, compreende em torno de cinco operários. Como mencionado anteriormente, o valor do piso salarial de um operário de lavras de rochas ornamentais e o tempo necessário para o corte de 1 metro cúbico é igual a 40 minutos, pode-se concluir que o custo de mão de obra para a aplicação desta técnica é aproximadamente R\$ 11,87/m².

5.1.2.2 Fio Diamantado

A máquina selecionada pelos critérios deste trabalho foi a LCF 75 da empresa Metalgran, mesmo equipamento selecionado para a técnica anterior, cujo motor apresenta 75 cavalos e possui velocidade de corte de 0-45 metros/segundo. Como informado anteriormente, o custo de aquisição é de R\$ 85.000,00.

O fio diamantado apresenta características específicas para granito ou para mármore. Portanto, serão apresentados separadamente neste trabalho os valores de custo dos fios para cada tipo de rocha. Para o corte de granito, o fio diamantado selecionado foi o de 11,7 mm de diâmetro com 40 pérolas/metro da empresa SarziComex, cujo valor de aquisição é de US\$ 100,00/metro, ou R\$ 203,42 (cotação do dia 08 de julho de 2.012). Já para o corte de mármore, o fio diamantado escolhido foi o de 10,5 mm de diâmetro com até 40 anéis/metro da empresa Co.Fi.Plást, com custo de US\$ 105,00/metro, ou R\$ 213,59/metro (cotação do dia 08 de julho de 2.012). Segundo Alencar *et al.* (1996), o comprimento do fio diamantado necessário para o corte de rochas é de 40 a 80 metros. Então, o custo total de investimento para a utilização do fio diamantado para o corte de granitos é de R\$ 12.205,20 e, conforme Pereira, Roberto e Amaral (1997) *apud* Menezes (2005), a vida útil do fio diamantado para o corte de granitos é de 1m/4m², o que significa um custo de operação em torno de R\$ 50,86 para cada m². Enquanto que para o corte de mármore o custo de investimento é de R\$ 12.815,40, e a vida útil do fio diamantado para o corte de mármore é de 1m/30m² (Pereira, Roberto e Amaral, 1997 *apud* Menezes, 2005), o que corresponde a um custo operacional de R\$ 7,05 para cada m² de rocha a ser cortada. Por meio destes dados, pode-se observar que apesar do fio diamantado para mármore apresentar um custo de investimento maior em relação ao

fio diamantado para granitos, sua vida útil é superior ao fio diamantado para granitos, o que torna o custo operacional do fio diamantado para mármore inferior, quando comparado ao fio diamantado para granitos.

Com relação à mão de obra necessária para realização da operação de corte por fio diamantado, Alencar *et al.* (1996) afirma que apenas um operário é capaz de operar o equipamento. Segundo Chiodi (1995), a velocidade média de corte de rochas por meio de fios diamantados é de 2,5 m²/hora, por isso para o corte de um m² gasta-se 24 minutos. Partindo deste princípio, o custo relativo à mão de obra em 24 minutos é de R\$ 1,42.

5.1.2.3 Jato de Chamas (“*Flame jet*”)

O equipamento escolhido por meio da pesquisa de mercado foi o Jet Flame KM 250 do fabricante KOMECs Metalmecânica Ltda., que permite a execução de trincheiras de 10 cm de largura e apresenta consumos de 35 Litros/hora de óleo diesel e de 250 PCM de ar comprimido. O valor de compra desta máquina é de R\$ 20.000,00.

Segundo Alencar *et al.* (1996), para operação do jato de chamas são necessários dois operários. Tendo em vista tal informação e que, de acordo com Chiodi (1995), a velocidade média de corte executado por essa máquina é de 1,2 m²/hora, pode-se dizer que em 50 minutos o custo total com mão de obra é R\$ 5,93/m².

A técnica de jato de chamas utiliza combustível, como, por exemplo, querosene, óleo diesel e etc., associado a um comburente (ar comprimido), gerando o agente cortante em forma de um jato de chama. O equipamento escolhido utiliza óleo diesel como combustível. A pesquisa de mercado realizada apontou o óleo diesel vendido pela empresa Shell Brasil S/A como o de menor custo, cujo valor é de R\$ 2,00/Litro. Conforme as especificações técnicas do fabricante, o consumo de óleo diesel é de 35 Litros/hora. Pode-se, então, concluir que para o corte de 1 m², são consumidos 29,17 Litros de óleo diesel, o que corresponde a um custo total de óleo diesel de R\$ 58,34. Com relação ao ar comprimido, o menor custo foi encontrado na empresa Oximil, cujos valores são de R\$ 1.550,00 para o recipiente de 10 m³ e de R\$ 12,00/m³ para a recarga

do recipiente em questão. O consumo de ar comprimido do equipamento é de 250 PCM, o que representa um valor de 424,88 m³/h. Como para a extração de 1 m² de rocha são necessários 50 minutos, pode-se dizer que são necessários 354,07 m³ para obtenção de 1 m² de rocha. Então, para o atendimento da demanda do consumo de ar comprimido para o corte de 1 m² sem a necessidade de recarga, serão necessário 36 recipientes de ar comprimido com capacidade de 10 m³, totalizando um valor de R\$ 55.800,00 para operação de 50 minutos.

5.2 Inventário de Custos por Técnica de Corte

Tabela 5.1 – Inventário Econômico de Aplicação das Técnicas de Corte de Rochas Ornamentais

Técnicas de Corte	Custo de Investimento	Custo de Operação (m ²)			Total (Investimento)	Total (Operação)	Total
	Equipamentos	Equipamentos	Mão de Obra	Outros			
Furos Adjacentes	R\$ 28.000,00	-	R\$ 3,56	-	R\$ 28.000,00	R\$ 3,56	R\$ 28.003,56
Fio Helicoidal	R\$ 97.525,00	R\$ 87,68	R\$ 11,87	R\$ 2,25	R\$ 97.525,00	R\$101,80	R\$ 97.626,80
Fio Diamantado (Granito)	R\$ 97.205,20	R\$ 50,86	R\$ 1,42	-	R\$ 97.205,20	R\$ 52,28	R\$ 97.257,48
Fio Diamantado (Mármore)	R\$ 97.815,00	R\$ 7,05	R\$ 1,42	-	R\$ 97.815,00	R\$ 8,47	R\$ 97.823,47
Jato de Chamas (Flame Jet)	R\$ 20.000,00	-	R\$ 5,93	R\$ 55.858,34	R\$ 20.000,00	R\$ 55.864,27	R\$ 75.864,27

OBS: Não foram considerados nesta análise a vida útil dos equipamentos e o valor final do equipamento (salvado). Desta forma incluiu-se todo o valor de aquisição do equipamento na coluna de valores totais. Deve-se, entretanto, considerar quantos metros quadrados cada equipamento é capaz de cortar para definir o custo de aquisição (CAPEX) por metro quadrado.

5.3 Análise de Mercado

Durante a realização deste trabalho, as marcas e os produtos que são utilizados nas indústrias, pôde-se observar a predominância de duas técnicas de corte no mercado nacional de rochas ornamentais: 1) Fio diamantado e 2) furos adjacentes. Isto deve-se ao fato destas técnicas apresentam a menor relação custo benefício, considerando-se operacionalidade, custo e eficiência.

Também foi possível detectar o total abandono de oferta e demanda de produtos relativos à técnica de fio helicoidal, que atualmente desempenha outras funções em outros setores, como por exemplo, para suspensão de cargas, transporte de elevadores, sustentação de estruturas suspensa, entre outros. Segundo Alencar *et al.* (1996), o desuso desta técnica está relacionado com a difícil mecanização de algumas etapas da operação, bem como o alto valor da mão de obra para esta metodologia. Para o jato de chamas (“*flame jet*”), observam-se a poucas ofertas do mercado, o que pode ser resultado do elevado custo com combustíveis, das irregularidades resultantes da queima, dos danos ao material e elevado impacto ambiental (Alencar *et al.*, 1996).

Outro fator responsável pelo domínio de mercado das técnicas de fio diamantado e de furos adjacentes é o tímido desenvolvimento da utilização de técnicas consideradas promissoras nas últimas décadas, como por exemplo, a técnica de jato d’água (“*water jet*”), que não demonstra um mercado consolidado no cenário brasileiro por ainda apresentar um custo expressivamente elevado dos equipamentos relacionados à aplicação desta técnica.

6 CONCLUSÕES

A avaliação econômica abordada nos capítulos anteriores demonstrou que, entre as técnicas de corte de rochas ornamentais citadas nas pesquisas realizadas neste trabalho, a técnica de furos adjacentes apresentou o menor custo de investimento, bem como de operação, considerando os aspectos avaliados.

Apesar do resultado obtido neste trabalho, vale ressaltar que um estudo de aplicação de técnicas de corte de rochas ornamentais deve considerar, além de uma pesquisa econômica, uma avaliação das características específicas das rochas, como geometria e tipologia do material e características geomorfológicas, litológicas e geológicas das jazidas, além de uma avaliação dos aspectos ambientais através de um levantamento dos potenciais impactos ambientais gerados pela técnica.

Em algumas pedreiras, é possível observar duas técnicas diferentes aplicadas em conjunto, procurando agregar celeridade ou proporcionar melhores alternativas para a extração do material. Como acontece com a técnica de jato de chamas (*“flame jet”*), que, atualmente, é muito utilizada apenas para abertura de trincheiras. Posteriormente outras técnicas de corte de rochas ornamentais são utilizadas, como por exemplo a técnica de furos espaçados (explosivos).

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados deste trabalho apontaram aspectos pontuais dos valores agregados às técnicas de corte de rochas ornamentais. A metodologia utilizada considerou os custos para extração de um metro quadrado de material e não considerou as características específicas de cada tipo de rocha, bem como do local de onde será extraído o material.

Sugere-se a realização de um estudo, considerando a exaustão de uma jazida de um determinado material em um local pré-definido, o que proporcionará uma precisão maior no levantamento dos custos em longo prazo e na definição de técnica para um material anteriormente especificado.

Para a determinação dos custos de aquisição dos equipamentos (CAPEX) deve-se considerar a vida útil dos equipamentos, medida em metros quadrados de corte. Assim, pode-se incluir este valor no custo total com maior rigor.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Síntese das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2010 - Informe 01/2011. Disponível em: http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/9576/Exporta_2010.pdf. Acessado em: 19/04/2012.

ALENCAR, C.R.A., CARANASSIOS, A., CARVALHO, D.L.C. Tecnologias de Lavra e Beneficiamento de Rochas Ornamentais. Estudo econômico sobre rochas ornamentais. V.3. Fortaleza: FIEC/IEL, 1996. 225 p.

BARTOLI, W.S.F. Argamassa Expansiva. Ouro Preto. Departamento de Engenharia de Minas da UFOP, 2010. 25 p. (Monografia, Especialização, Beneficiamento Mineral).

CHIODI, C.F. Aspectos Técnicos e Econômicos do Setor de Rochas Ornamentais. Série Estudos e Documentos, 28. Rio de Janeiro: CNPq/CETEM, 1995. 75p.

CHIODI, C.F., KISTEMANN, D.C. Relatório Técnico 33 – Perfil de Rochas Ornamentais e de Revestimento. MME - Ministério de Minas e Energia. 2009. 101p.

CHIODI, C.F., ONO, P.A. Tipos de Lavra e Técnicas de Corte para Desmonte de Blocos. **Revista Rochas de Qualidade**, São Paulo, n.120, p. 93-106.

CRESPO, A. Novas Tecnologias para Extração de Rochas Ornamentais. **Revista Rochas de Qualidade**, São Paulo, n. 110, p. 95-100.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário Mineral Brasileiro – 2010. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=2005>. Acessado em: 04/04/2012.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral Brasileiro – 2011. Disponível em:

<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=1990>. Acessado em: 19/04/2012.

GOMES, M.A.S. Redução de Impacto Ambiental Através da Melhoria do Processo de Lavra de Quartzito Micáceo no Município de São Thomé das Letras – Minas Gerais. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2000. 150p. (Dissertação, Mestrado, Tecnologia Mineral).

GROSS, J.M., CHIODI, C.F. A Importância da Pesquisa Geológica no Segmento de Rochas Ornamentais. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 4, 1996, Porto Alegre. Egatea: Revista da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, número especial, novembro 1996. p. 140-144.

HARTMAN, H.L. Introductory Mining Engineering. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1987. 633 p.

MARES GEOLOGIA E MINERAÇÃO LTDA. A Pesquisa Geológica na Caracterização e Viabilização de Jazidas. **Revista Rochas de Qualidade**, São Paulo, n. 102, p.62-65.

MATTA, P.M. Prospecção e Pesquisa de Rochas Ornamentais – Uma Contribuição à Produção Limpa. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste – SRONE, 4, 2003, Fortaleza. p. 21-32.

MENEZES, R.G. Tecnologia de Lavra em Maciços Rochosos. Rio de Janeiro: Departamento de Geologia da UFRJ, 2005. 48 p. (Monografia, Especialização, Tecnologia e Valorização em Rochas Ornamentais).

MEC – Ministério da Educação e da Cultura – Cartilha Temáticas de Rochas Ornamentais de 2007. Disponível em:

http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf3/publica_setec_rochas.pdf.

Acessado em: 28/07/2012

PINHEIRO, J.R. O Emprego da Argamassa Expansiva na Extração de Rochas Ornamentais. **Revista Rochas de Qualidade**, São Paulo, n. 145, p. 96-108, 1999.

PINHEIRO, J.R. A indústria Extrativa de Rochas Ornamentais no Brasil. Apostila do Módulo I do Curso de Especialização em Rochas Ornamentais, Rio de Janeiro, CETEM/UFRJ/CETEMAG, 2003, 55p.

REIS, R.C., SOUSA, W.T. Métodos de Lavra de Rochas Ornamentais. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 56, n. 3, 2003.

SALES, F.A.C.B., MORAIS, J.O. Proposta Metodológica de Pesquisa para Rochas Ornamentais. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste – SRONE, 4, 2003, Fortaleza. p. 2-12.

SINDUSCON-MG – Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais. Convenção Coletiva de Trabalho 2011/2012. Disponível em: <http://www.sinduscon-mg.org.br/site/arquivos/up/juridica/convencao%20coletiva%20pedro%20leopoldo%202011%202012%20homologada.pdf>. Acessado em: 28/07/2012.

9 ANEXOS

- Propostas comerciais de menor custo escolhidos para utilização no trabalho



WOLF[®]

Rua Gentil Portugal do Brasil, 212 2º andar – Camargo – Belo Horizonte – Minas Gerais – Cep: 30.520.540
E-mail: mg@wolf.com.br - Site: www.wolf.com.br

MWI-44/12MG

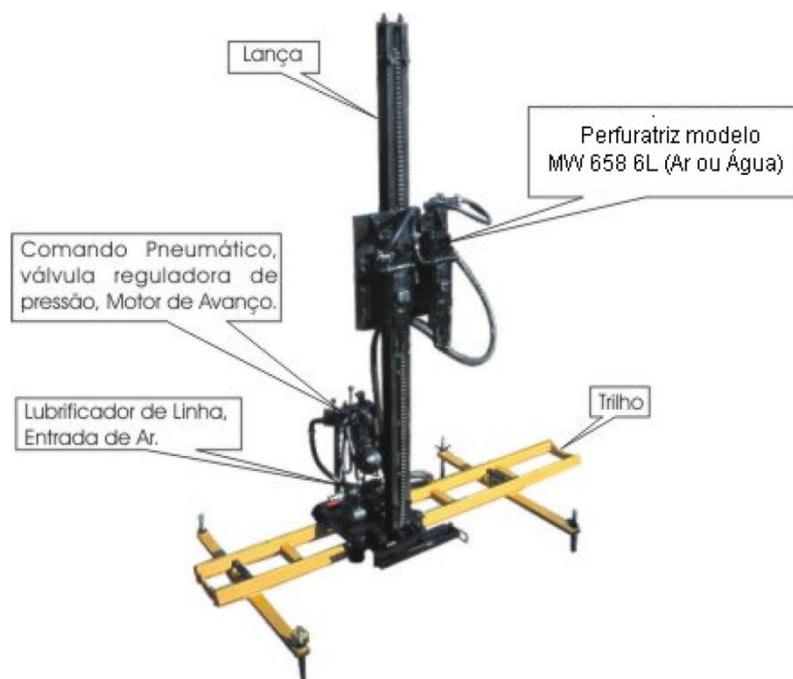
Belo Horizonte, 07 de Julho de 2012

À

A/C - SR. Erlan César

Prezado Sr., Erlan

Conforme vossa solicitação apresentamos nossa proposta para fornecimento de 01 (um) conjunto de Talha Bloco, para extração de mármore ou granito modelo MW-600 (com 02 martelos).



1. O CONJUNTO É COMPOSTO POR:

- 02 – martelos modelo MW-658;
- 01 – Coluna para percussão da perfuratriz;
- 02 – Trilhos;
- 01 – Possui válvula reguladora de pressão para perfuração;
- 01 – Lubrificador de linha;
- 01 – Possui painel de controle com válvulas para acionamento da rotação e impacto;
- 01 – Cremalheira para deslocamento do carro no trilho;
- 01 – Carrinho guia da perfuratriz;
- 01 – Conjunto de guias e cunhas para fixação;
- 01 – Redutor com motor pneumático para acionar o avanço da perfuratriz sobre a coluna;
- Peso com martelo : 920 Kg



Rua Gentil Portugal do Brasil, 212 2º andar – Camargo – Belo Horizonte – Minas Gerais – Cep: 30.520.540
E-mail: mg@wolf.com.br - Site: www.wolf.com.br

MWI-44/12MG

- Consumo de ar total do equipamento: 420 PCM

2. DADOS TÉCNICOS DO MARTELO MW-658

- Consumo de ar: 125 PCM
- Peso: 26 Kg
- Frequência de impacto: 2.400 Imp./min.
- Rotação da Perfuratriz: 170 RPM
- Punho para Broca: 7/8"

3. PROPOSTA COMERCIAL:

- Preço unitário: R\$28.000,00 (Vinte e Oito mil reais) – IPI isento.
- Condições de Pagamento: a combinar.
- Prazo de entrega : 45 dias úteis (condicionado a confirmação do pedido).
- Classificação fiscal : 8430.49.90
- Transporte : por conta e responsabilidade da compradora
- Validade da proposta : 30 dias após esta data.

4. GARANTIA :

A garantia será concedida em horas trabalhadas, conforme abaixo :
✓ Para perfuração: 1.000 horas.

Colocamo-nos a sua disposição , para maiores informações,
Atenciosamente,

Ats,

Marcelo Santos

Consultor de Vendas

31-33610648

Inteligência em materiais de perfuração

www.wolf.com.br





PROPOSTA ORÇAMENTÁRIA

Cliente: ERLAN CÉSAR
erlancesar04@hotmail.com (31)8701-8379

Prezado Senhor **ERLAN**

Atendendo a solicitação de Vs^ª, estamos apresentando nossa proposta técnica e comercial para fornecimento de equipamentos para indústria do mármore e granito.

DESCRIÇÃO DO BEM:

Designação Comercial: MÁQUINA DE FIO DIAMANTADA LCF 50 (PEDREIRA)

Marca: METALGRAN

Modelo: LCF 50

Posição fiscal: 8464.1000

Código Finame: 2883156

ICMS e IPI: Empresa enquadrada no SIMPLES NACIONAL

Consumo Energia estimado: 36,75KVA

VALOR DO BEM: R\$70.000,00 (Setenta mil reais)

Designação Comercial: MÁQUINA DE FIO DIAMANTADA LCF 75 (PEDREIRA)

Marca: METALGRAN

Modelo: LCF 75

Posição fiscal: 8464.1000

Código Finame: 2883179

ICMS e IPI: Empresa enquadrada no SIMPLES NACIONAL

Consumo Energia estimado: 55,125KVA

VALOR DO BEM: R\$85.000,00 (Oitenta e cinco mil reais)

VALOR TOTAL DOS BENS: R\$ 155.000,00 (Cento e cinquenta e cinco mil reais)

CONDIÇÃO DE PAGAMENTO:

Sinal de 30%, + 30% com 30 dias e 40% restante com 30/60 dias boleto bancário a partir do cadastro.

Ou 10% sinal e restante financiável pelo BNDES, FINAME.



VALIDADE DA PROPOSTA:

Válida para 10 dias

PRAZO DE ENTREGA: 90 dias da confirmação do pedido.

Especificação Técnica: MÁQUINA DE FIO DIAMANTADO LCF 75

• LARGURA	1300MM
• COMPRIMENTO	1800MM
• ALTURA	1200MM
• 01 MOTOR PRINCIPAL	DE 75CV
• 01 MOTOR DA LENTA	1CV, 4 POLOS
• 01 MOTOR SUPERIOR	1,5CV, 4 POLOS
• 02 MOTOFREIO	2CV, 4 POLOS
• VOLANTE PRINCIPAL DE	650 A 920MM
• COMANDO OPERACIONAL A DISTÂNCIA	
• VELOCIDADE VARIÁVEL	0 A 45 M/S
• GIRO DO CORTE	360°

RESERVAMOS O DIREITO DE ALTERAR AS CARACTERÍSTICAS DE NOSSO PRODUTO.

Especificação Técnica: MÁQUINA DE FIO DIAMANTADO LCF 50

• MOTOR PRINCIPAL	50 CV 220/380
• VELOCIDADE COM INVERSOR DE FREQUENCIA	0 A 40 M/S
• CALA AUTOMÁTICA DE INVERSOR DE FREQUENCIA	
• ALINHAMENTO PRINCIPAL	
• GIRO ELÉTRICO COMANDO POR BOTOEIRAS	360°
• 02 VOLANTES GUIAS	DIAM. 400 MM
• VOLANTE PRINCIPAL	DIAM. 800 MM
RESERVAMOS O DIREITO DE ALTERAR AS CARACTERÍSTICAS DE NOSSO PRODUTO.	

GARANTIA:

12 (DOZE) meses a contar da saída da Nota Fiscal (vide termo).

LOCAL DE ENTREGA:

O cliente retira na fábrica – localizada à Rua Leopoldino Smarzaró, nº 37 – Bairro Baixo Monte Cristo – Cachoeiro de Itapemirim – ES – CEP 29312-541.



TRANSPORTE E SEGURO:

O transporte e seguro são de responsabilidade do cliente

OBS.: A Metalgran Indústria e comércio Ltda. Só libera a saída do equipamento após a autorização por escrito por parte do cliente, e este averiguando a conformidade do transporte para garantir a segurança e integridade da máquina durante o transporte.

MONTAGEM:

A montagem mecânica está incluída no orçamento, ficando por conta do cliente a construção civil, rede elétrica, rede de água até o ponto de entrada da máquina, despesas com transporte de ida e volta, alimentação e estadias dos técnicos.

ATENÇÃO:

A Metalgram fornecerá o projeto da construção civil que se refere à base da máquina, mas, não se responsabiliza pela construção da mesma, exceto se a Metalgram for contratada para a construção da mesma.

Para maior segurança, sugerimos que a compradora contrate os serviços de engenharia civil para análise e acompanhamento da obra.

Cachoeiro de Itapemirim – ES, 06 de Julho de 2012.

Atenciosamente,

Darlene Richardelle Antonelli
vendas@metalgran.com
(28)3521-3233/9945-1449

Serra, 05 de Julho de 2012.

Para : Sr. Erlan César de Faria Filho

De : Hegner Maciel
TOP WIRE

Ref. : Proposta Comercial - TOP WIRE.



A **TOP WIRE**, empresa especializada no fornecimento de Fios Diamantados e presente no mercado brasileiro há mais de 18 anos, fornecedora dos Fios Diamantados **CO.FI.PLAST**, **WANLONG**, **ROCKET** e **SOLGA**, Teares a Fio Diamantado e Mono-Fio **WIRES ENGINEERING** tem o prazer de atender ao **Sr. Erlan César de Faria Filho**

Gostaríamos de lembrar que além de fornecermos os **Equipamentos** e **Insumos** necessários, dispomos de uma **Assistência Técnica Especializada** para acompanhar seus trabalhos e efetuar treinamentos para seus funcionários.

Segue abaixo proposta de nossos produtos.

Sem mais para o momento, coloco-me à sua disposição para o que for necessário.

Atenciosamente,

Hegner Maciel

Visite: www.fiodiamantado.com.br



Item 6:

CERCA FURO.

Descrição: Equipamento eletrônico para uso em pedreiras, empregado na busca de furos para o corte como fio diamantado. O instrumento permite encontrar a exata posição dos furos que não se encontraram numa primeira tentativa. Através da introdução das sondas nos furos o instrumento indica:

- Se os furos estão curtos demais ou longos demais;
- Se um furo se encontra a direita ou esquerda do outro;
- A distância mínima existente entre os furos.

Com estas informações será possível executar um novo furo na posição exata, de modo a atingir o outro furo.



O Cerca Furo é composto de:

- Maleta contendo o circuito eletrônico, dotada de display de Led Ultraluminosos para a visualização da distância;
- Carregador de bateria, 220 Volt / 50 Hz + adaptador para 110 Volt
- Sonda de 35mm com 50 metros de cabos
- Sonda de 14mm com 100 metros de cabos
- Adaptador em aço inox para sonda de 14mm, para furos de grande diâmetro
- 20 unids hastes com 2mts cada, para as sondas

Valor Unitário: R\$ 24.990,00 (Vinte e quatro mil novecentos e noventa reais)

Forma de Pagamento: 50% de sinal, restante em 30 / 60 dias da entrega do equipamento

Prazo de Entrega: 30 dias Pagamento do Sinal - EXW Vitória/ES

Garantia: 9 Meses

FIOS DIAMANTADOS

➔ PARA JAZIDAS DE GRANITOS, QUARTZITOS e SIMILARES

Descrição: Fio Diamantado, Ø11,50mm, com 40 anéis por metro, Emborrachado

Valor Unitário, Marca RocketUSD 100,00 / m

Valor Unitário, Marca Wanlong.....USD 100,00 / m

Valor Unitário, Marca Co.Fi.PlastUSD 115,00 / m

Valor Unitário, Marca Solga.....USD 115,00 / m

Forma de Pagamento: 30 / 60 / 90 dias ou sob consulta

Prazo de Entrega: Imediata - EXW Vitória/ES



➔ PARA JAZIDAS DE MÁRMORES, PEDRA SABÃO, TRAVERTINO e SIMILARES

Descrição: Fio Diamantado, Ø10,50mm, com 33-40 anéis por metro, Plastificado

Valor Unitário, Marca Co.Fi.PlastUSD 105,00 / m

Forma de Pagamento: 30 / 60 / 90 dias ou sob consulta

Prazo de Entrega: Imediata - EXW Vitória/ES

